

TRABAJO FIN DE GRADO

**DOBLE GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA Y ADMINISTRACIÓN Y
DIRECCIÓN DE EMPRESAS**



Métodos de Estimación y Análisis de la Curva Cupón Cero para el Euro

Autor: Alexandra Escobedo de Pelsmaeker

Tutor Ingeniería Informática: Miguel Ángel Patricio Guisado

Tutor Administración de Empresas: Miguel Ángel López Gómez

Resumen

Este proyecto se basa en el análisis y el estudio de diferentes técnicas de aproximación de Curvas Cupón Cero, así como en metodologías de predicción de Renta Fija que sean capaces de estimar el valor futuro de estos activos. El estudio se centra en la zona Euro, construyendo curvas que permitan valorar activos denominados en esta moneda.

El objetivo es el de poder evaluar el rendimiento de las Redes Neuronales Artificiales de MATLAB como método de aproximación y predicción, para así poder aplicarlas en el cálculo de curvas, y en la valoración de activos. Se busca una nueva forma de realizar matemáticas financieras, desde una perspectiva más computacional, aplicando técnicas de Inteligencia Artificial.

Así mismo, se busca predecir posibles subidas o bajadas en el precio de determinados bonos, con el fin de poder obtener beneficios en los mercados gracias a esta información

Abstract

This project is based on the analysis and study of different approximation techniques of Zero Coupon Curve and prediction methodologies Bond to estimate the future value of these assets. The study focuses on the Euro area, building curves for evaluating assets denominated in that currency.

The aim is to evaluate the performance of MATLAB Neural Networks as a method of approach and prediction, so we can apply in the calculation of curves, as well as asset valuation. This project has sought a new way of conducting financial mathematics, from a computational perspective, applying AI techniques.

Likewise, it has sought to predict possible increases or decreases in the price of certain bonds, in order to obtain benefits in the markets thanks to this information.

Índice de contenido

1	Introducción	11
1.1	Motivación:	11
1.2	Ambientación:	12
1.2.1	Entorno socio-económico	12
1.2.2	Marco regulador.....	15
1.3	Objetivos:	16
1.3.1	Objetivos financieros.....	16
1.3.2	Objetivos informáticos	16
1.4	Medios para el desarrollo:	17
1.4.1	Medios Hardware	17
1.4.2	Medios Software	18
1.5	Estructura del documento:	19
1.5.1	Introducción	19
1.5.2	Estado del Arte	19
1.5.3	Tecnologías utilizadas.....	19
1.5.4	Sistema desarrollado.....	19
1.5.5	Resultados y discusiones	19
1.5.6	Conclusiones y futuros trabajos	20
1.5.7	Bibliografía	20
1.5.8	Anexos	20
2	Estado del arte	21
2.1	Mercados financieros.....	21
2.1.1	Mercados de Deuda y Renta Fija.....	22
2.1.2	Mercados monetarios	24
2.2	Curva Cupón Cero:	28
2.2.1	Alternativas de diseño para la construcción de la curva.....	29
2.2.2	Usos ETTI	35
2.2.3	Teorías de implicaciones de la ETTI.....	37
2.3	Prima de riesgo:.....	41
2.4	Inteligencia Artificial aplicada a las finanzas	44
2.4.1	Sistemas Expertos	44
2.4.2	Redes Neuronales Artificiales.....	46



2.4.3	Algoritmos genéticos.....	47
2.4.4	Lógica difusa	48
2.4.5	Teoría de los conjuntos aproximados	49
2.5	MATLAB: aplicación en finanzas cuantitativas.....	51
2.6	Métodos de aproximación	53
2.6.1	Métodos de aproximación para el ajuste de curvas	53
2.6.2	Redes Neuronales Artificiales en el ajuste de curvas.....	54
2.7	Métodos de predicción	58
2.7.1	Técnicas de predicción económica.....	58
2.7.2	Redes Neuronales Artificiales para series temporales.....	60
3	Tecnologías utilizadas.....	62
3.1	Estimación con Redes Neuronales Artificiales en MATLAB	62
3.1.1	Redes Neuronales multicapa: Feedforward Neural Network	62
3.1.2	Redes Neuronales de base radial	66
3.1.3	Redes Neuronales para predicción de series temporales.....	69
3.2	Interfaces Matlab: GUIDE.....	76
3.3	Datafeed Toolbox: Bloomberg®	81
3.3.1	Conexión a Bloomberg®	81
3.3.2	Consulta de datos.....	82
3.3.3	Obtener valores históricos	83
3.4	MATLAB para Microsoft Excel	85
3.4.1	Crear fichero Excel desde MATLAB	85
3.4.2	Exportar datos desde MATLAB.....	86
4	Sistema desarrollado.....	88
4.1	Análisis del sistema	88
4.1.1	Definición del sistema	88
4.2	Diseño del sistema	90
4.2.1	Arquitectura del sistema	90
4.2.2	Subsistemas.....	91
5	Resultados y Discusiones.....	111
5.1	Resultados	111
5.1.1	Curva Cupón Cero.....	111
5.1.2	Predicción Renta Fija	127



5.2	Discusiones.....	133
5.2.1	Curvas Cupón Cero	133
5.2.2	Predicción Renta Fija	136
6	Conclusiones y futuros trabajos.....	138
6.1	Conclusiones:	138
6.1.1	Conclusiones técnicas	138
6.1.2	Conclusiones analíticas.....	139
6.1.3	Conclusiones generales	139
6.2	Futuros trabajos:	140
6.2.1	Diseño Curva Cupón Cero.....	140
6.2.2	Otras aplicaciones Curva Cupón Cero	140
6.2.3	Predicción valores de Renta Fija	141
6.2.4	Interfaz de usuario	141
7	Bibliografía	142
9	Anexos.....	149
9.1	Anexo I: Acrónimos y definiciones	149
9.1.1	Acrónimos	149
9.1.2	Definiciones.....	150
9.2	Anexo II: Planificación y presupuesto	158
9.2.1	Planificación	158
9.2.2	Presupuesto.....	162
9.3	Anexo III: Introducción y conclusiones en Inglés	165

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: variaciones fondo RF vs variaciones fondo RV	12
Ilustración 2: evolución precio bono 10Y España y bono 10Y.....	13
Ilustración 3: terminal Bloomberg®	18
Ilustración 4: curva CCC con interpolación exponencial	32
Ilustración 5: comparación métodos interpolación y aproximación	33
Ilustración 6: ETTI plana según teoría de la liquidez	39
Ilustración 7: teoría segmentación de mercados.....	40
Ilustración 8: prima de riesgo Eurozona 10/04/2015	41
Ilustración 9: variación prima de riesgo en España.....	42
Ilustración 10: Arquitectura sistema experto	45
Ilustración 11: arquitectura RNA.....	46
Ilustración 12: diagrama de flujo algoritmos genéticos.....	48
Ilustración 13: ejemplo uso herramienta optimización de carteras	51
Ilustración 14: ajusta de curva a partir de datos de entrada	53
Ilustración 15: arquitectura perceptron multicapa.....	55
Ilustración 16: arquitectura RRNN base radial.....	56
Ilustración 17: arquitectura <i>Feedforward Neural Network</i>	63
Ilustración 18: Neural Network Training.....	65
Ilustración 19: arquitectura RNA base radial	67
Ilustración 20: Datos de entrada	68
Ilustración 21: Resultado aproximación con RNA Radial	69
Ilustración 22: interfaz Neural Network Time Series Tool	70
Ilustración 23: selección datos Neural Network Time Series Tool	72
Ilustración 24: arquitectura red NAR	73
Ilustración 25: entrenamiento Neural Network Time Series Tool	74
Ilustración 26: ejemplo MATLAB GUI.....	76
Ilustración 27: ejemplo interfaz MATLAB.....	77
Ilustración 28: GUIDE Quick Start.....	78
Ilustración 29: GUIDE Layout Editor	79
Ilustración 30: conexión a través del complemento Spreadsheet Link Ex.....	85
Ilustración 31: arquitectura sistema desarrollado	90
Ilustración 32: GUI para construcción de la curva	104

Ilustración 33: GUI para predicción RF.....	105
Ilustración 34: relación módulos CCC.....	107
Ilustración 35: relación módulos Predicción RF	108
Ilustración 36: diagrama de flujo PREDICCIÓN	109
Ilustración 37: diagrama de flujo DISEÑO CCC.....	110
Ilustración 38: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 17/07/2012	113
Ilustración 39: interpolación y redes SIN futuros 17/07/2012.....	114
Ilustración 40: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 18/10/2012	114
Ilustración 41: interpolación y redes SIN futuros 18/10/2012.....	114
Ilustración 42: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 28/01/2013	114
Ilustración 43: interpolación y redes SIN futuros 28/01/2013.....	115
Ilustración 44: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 24/06/2013	115
Ilustración 45: interpolación y redes SIN futuros 24/06/2013.....	115
Ilustración 46: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 27/01/2014	115
Ilustración 47: interpolación y redes SIN futuros 27/01/2014.....	116
Ilustración 48: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 30/05/2014	116
Ilustración 49: interpolación y redes SIN futuros 30/05/2014.....	116
Ilustración 50: curva SIN futuros 17/07/2012.....	117
Ilustración 51: curva SIN futuros 18/10/2012.....	117
Ilustración 52: curva SIN futuros 28/01/2013.....	117
Ilustración 53: curva SIN futuros 24/06/2013.....	118
Ilustración 54: curva SIN futuros 27/01/2014.....	118
Ilustración 55: curva SIN futuros 30/05/2014.....	118
Ilustración 56: curva CON y SIN futuros 17/07/2012.....	119
Ilustración 57: curva CON y SIN futuros 18/10/2012.....	119
Ilustración 58: curva CON futuros 28/01/2013.....	120
Ilustración 59: curva CON y SIN futuros 24/06/2013.....	120
Ilustración 60: curva CON y SIN futuros 27/01/2014.....	120
Ilustración 61: curva CON y SIN futuros 30/05/2014.....	121
Ilustración 62: CCC 17/07/2012 (verde) y 17/07/2013	122
Ilustración 63: CCC 23/07/2012 (Verde) y 23/05/2014 (Roja)	122
Ilustración 64: CCC 03/12/2012 (verde) y 07/01/2013 (ROJA)	122
Ilustración 65: CCC 01/06/2012 (verde) 30/05/2013 (roja) 30/05/2014 (azul)	123
Ilustración 66: errores y curva con 1 neurona	123



Ilustración 67: errores y curva con 5 neuronas.....	124
Ilustración 68: errores y curva con 10 neuronas.....	124
Ilustración 69: errores y curva con 14 neuronas.....	124
Ilustración 70: errores y curva con 15 neuronas.....	125
Ilustración 71: errores y curva con 30 neuronas.....	125
Ilustración 72: errores y curva con $sc=1000$	125
Ilustración 73: errores y curva con $sc=2500$	126
Ilustración 74: errores y curva con $sc=5000$	126
Ilustración 75: errores y curva con $sc=10000$	126
Ilustración 76: errores y curva con $sc=20000$	127
Ilustración 77: errores y curva con $sc=30000$	127
Ilustración 78: error cometido según número de datos	129
Ilustración 79: % acierto según horizonte temporal	131
Ilustración 80: variaciones curva según prima de riesgo	135
Ilustración 81: diagrama de Gantt inicial	160
Ilustración 82: diagrama de Gantt final.....	161

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: importe liquidación FRA.....	25
Ecuación 2: cálculo tipo implícito en un FRA.....	26
Ecuación 3: precio de un bono a 2 años.....	30
Ecuación 4: precio de un bono a 3 años.....	30
Ecuación 5: precio bono según método matricial.....	31
Ecuación 6: precio de un bono forma matricial	31
Ecuación 7: factores de descuento forma matricial.....	31
Ecuación 8: cálculo tipo CC método matricial.....	31
Ecuación 9: valor actual de flujos futuros	36
Ecuación 10: esperanza tipos futuros (T^a Expectativas)	38
Ecuación 11: esperanza tipos futuros (T^a Preferencias)	38
Ecuación 12: fórmula de Lagrange	54
Ecuación 13: función de transferencia RN Radial	67
Ecuación 14: duración en años de un valor	97
Ecuación 15: factor de descuento tipo CC	97
Ecuación 16: tipo Cupón Cero de un Euribor	97
Ecuación 17: factor de descuento Swap (Bootstrapping)	97
Ecuación 18: tipo Cupón Cero IRS	97
Ecuación 19: duración en años de un valor	99
Ecuación 20: factor de descuento tipo CC	99
Ecuación 21: tipo Cupón Cero de Euribor	99
Ecuación 22: factor de descuento implícito FRA.....	100
Ecuación 23: tipo Cupón Cero FRA.....	100
Ecuación 24: factor de descuento Swap (Bootstrapping)	100
Ecuación 25: tipo Cupón Cero IRS	100
Ecuación 26: interpolación lineal	102
Ecuación 27: interpolación exponencial	102
Ecuación 28: MSE	106
Ecuación 29: MAPE.....	106

Índice de Tablas

Tabla 1: Características del equipo de desarrollo	17
Tabla 2: Características monitores Bloomberg®	17
Tabla 3: Características terminal Bloomberg®	17
Tabla 4: características MATLAB	18
Tabla 5: clasificación de los mercados de deuda y Renta Fija en España (Fuente: Expansión) ..	22
Tabla 6: errores SIN futuros 17/07/2012	112
Tabla 7: errores SIN futuros 18/10/2012	112
Tabla 8: errores SIN futuros 28/01/2013	112
Tabla 9: errores SIN futuros 24/06/2013	112
Tabla 10: errores SIN futuros 27/01/2014	112
Tabla 11: errores SIN futuros 30/05/2014	112
Tabla 12: errores CON futuros 17/07/2012	112
Tabla 13: errores CON futuros 18/10/2012	112
Tabla 14: errores CON futuros 28/01/2013	113
Tabla 15: errores CON futuros 24/06/2013	113
Tabla 16: errores CON futuros 27/01/2014	113
Tabla 17: errores CON futuros 30/05/2014	113
Tabla 18: histórico prima de riesgo española	121
Tabla 19: error medio vs nº datos aprendizaje	128
Tabla 20: predicción vs neuronas 24/10/2012.....	129
Tabla 21: predicción vs neuronas 19/06/2013.....	129
Tabla 22: predicción vs neuronas 02/01/2014.....	130
Tabla 23: predicción vs neuronas 20/03/2014.....	130
Tabla 24: predicción vs % entren. 24/10/2012	130
Tabla 25: predicción vs % entren. 19/06/2013	130
Tabla 26: predicción vs % entren. 02/01/2014	131
Tabla 27: predicción vs % entren. 20/03/2014	131
Tabla 28: matriz aciertos predicción	132
Tabla 29: Errores cometidos usando FRA	134
Tabla 30: Errores cometidos SIN FRA.....	134
Tabla 31: Costes Software	162
Tabla 32: Características recurso Hardware 1	163
Tabla 33: Características recurso Hardware 2	163



Tabla 34: Costes Hardware	163
Tabla 35: Costes Humanos	163
Tabla 36: Costes Totales.....	164

1 Introducción

Esta sección se encarga de introducir al lector en la temática que se va a abordar a lo largo de todo el documento. Para ello, se comienza exponiendo cuáles han sido las motivaciones que han llevado a realizar este trabajo así como conceptos básicos de los que se parten y situación socio-económica actual (ambientación). Además, se resumen claramente cuáles son los objetivos que se pretenden conseguir, cuáles son los medios utilizados para su realización y, finalmente, la estructura completa de la memoria.

1.1 Motivación:

Este proyecto surge ante la idea de buscar un tema donde poder relacionar lo máximo posible dos áreas aparentemente distintas. Se pretende abordar dos temas, **la Inteligencia Artificial y las Finanzas**, usando como nexo de unión la predicción y modelización llevadas a cabo en la parte más cuantitativa de estas últimas.

El objetivo es el de comprobar el rendimiento que algunas técnicas computacionales tienen en el área empresarial, proponiendo métodos no investigados hasta el momento, cuyo fin último es el de **optimizar el proceso de toma de decisiones**.

Puesto que son muchas las investigaciones llevadas a cabo en esta área (predicciones en bolsa, **rendimiento de carteras...**) así como aplicaciones desarrolladas para determinar diversos aspectos financieros (**riesgo de crédito [1], valoración de activos, cálculo de capital económico...**) se hacía una necesidad buscar una **idea novedosa**, donde las investigaciones realizadas hasta el momento no se hubieran desarrollado ampliamente.

De este modo, este trabajo se centra en la investigación del **desarrollo y uso de las Curvas Cupón Cero**, no solo para encontrar una metodología de estimación adecuada, sino también para aplicarla en la valoración de activos de **Renta Fija**. Este último aspecto ha sido determinante ya que, a través de este proyecto, se propone una forma poco convencional de ganar en los mercados financieros, a través de otro tipo de instrumentos distintos a la **Renta Variable**, que aunque menos beneficio, también supone menos riesgo (algo a valorar de acuerdo a las inestabilidad de los mercados en los últimos tiempos).

Para esto, se ha decidido hacer uso de **las Redes Neuronales en MATLAB**, en contraposición a otros entornos y técnicas utilizadas en estudios anteriores. Aunque son muchas las metodologías de Inteligencia Artificial que se han aplicado a las finanzas, se han considerado estas por entender que son las que mejor se adaptan a la solución que se pretende aportar.

Cabe destacar que, además, las Curvas Cupón Cero tienen una **gran relevancia en el mundo actual**, siendo utilizadas, ampliamente, por múltiples entidades de crédito e inversión para la toma de decisiones. Es importante mencionar los métodos tan rudimentarios que muchas de estas usan para su cálculo, lo que ha motivado aún más el afán de mejorarlo (aplicando técnicas más computacionales, que quizás por desconocimiento, no se han llegado a utilizar).

1.2 Ambientación:

1.2.1 Entorno socio-económico

La actual crisis económica ha sembrado al **sistema financiero actual de una gran inestabilidad**. Esto ha provocado que los potenciales inversores se vuelvan más **adversos al riesgo** y, en consecuencia, busquen productos financieros que, aunque menor rentabilidad, también supongan menos riesgo.

Siguiendo esta línea, son los activos de Renta Fija los que han adquirido mayor protagonismo en estos tiempos de crisis. Existen muchos **fondos de inversión** dedicados exclusivamente a invertir en estos productos y que, por tanto, suponen una buena forma de invertir para aquellos ahorradores de perfil prudente. En torno al 33% del dinero que mueven los fondos españoles está colocado en productos de Renta Fija siendo, en estos últimos años, los que mayor subida (en términos porcentuales) han experimentado [2].

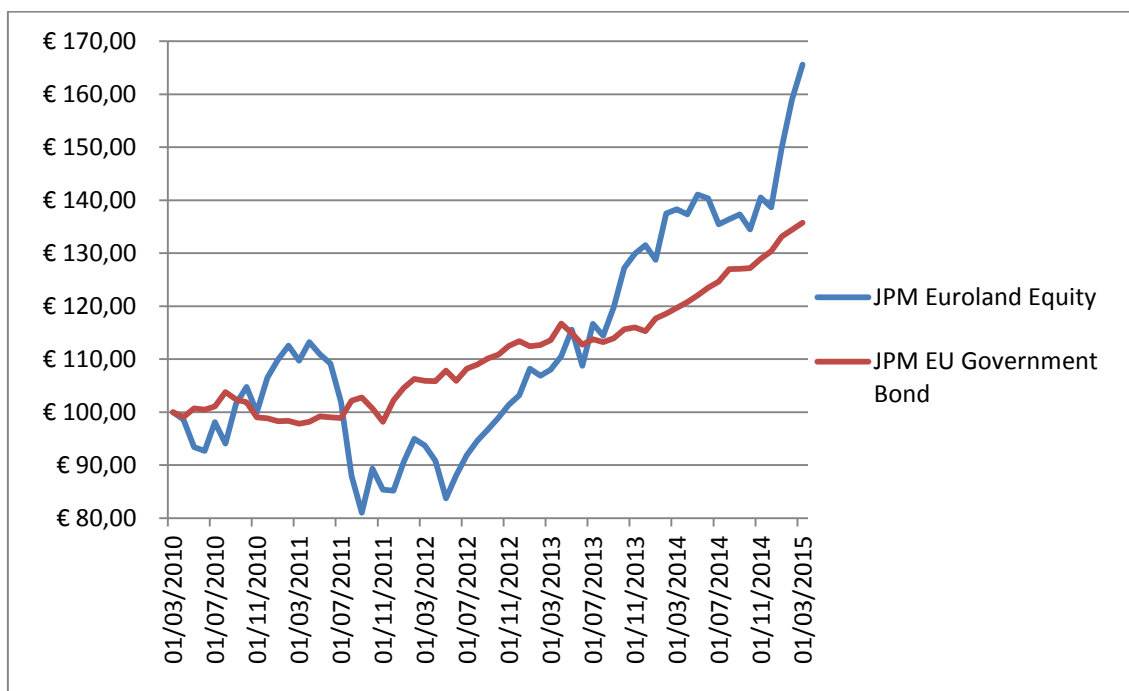


Ilustración 1: variaciones fondo RF vs variaciones fondo RV (Fuente: JP Morgan Asset Management)

Dentro de este tipo de productos podemos distinguir entre **Renta Fija Euro e Internacional**. La primera, y en la que nos centraremos en este proyecto, está formada por toda deuda denominada en Euros y, por tanto, emitida por estados y empresas privadas de la eurozona.

Cabe destacar que en estos últimos años, la rentabilidad de estos activos ha experimentado grandes fluctuaciones por lo que se convierte en una buena oportunidad de investigación detectar cómo estos cambios han afectado a los mercados financieros.

La rentabilidad de la deuda está relacionada de forma directa con el **riesgo** [3] que un inversor puede adquirir con su compra (principalmente en términos de **riesgo de crédito**) y por tanto, de la **calidad crediticia** de las entidades emisoras de los mismos. De este modo, la prima de riesgo, que tantas variaciones ha sufrido en los dos últimos años, afecta de forma directa a la valoración de los bonos. Por ejemplo, no ha sido la misma la valoración de España como

emisora de bonos hace 5 años (cuando la crisis en este país era honda) que en la actualidad (donde la recuperación económica parece ya una realidad).

En este sentido, es tanta la forma en que la percepción del riesgo afecta a la valoración en Renta Fija que, en los últimos meses, algunos países (como Alemania o Bélgica, considerados los más seguros de la Eurozona) han llegado, incluso, a **ofrecer bonos con rentabilidad negativa**. Aunque, a priori, esto parezca carecer de sentido existen varias razones por las que invertir en estos bonos puede llegar a ser una buena oportunidad. Por un lado, si buscamos razones con naturaleza especulativa, puede ser una buena ocasión si prevemos que los precios van a seguir cayendo o, por el contrario, van a experimentar subidas. Por otro lado, también podemos encontrar beneficios ocasionados por el tipo de cambio (como ocurrió hace pocos meses con la revalorización del franco suizo [4]), previsión de plusvalías o por previsiones de demanda y oferta futura. Según los cálculos de **JP Morgan**, a finales de enero un total de 3,6 mil millones de Dólares en deuda pública (un 16% del total) se negociaba a tipos negativos [5].

A continuación, se muestra una gráfica que representa la **evolución del bono alemán a 10 años** (línea azul) frente a otros bonos europeos. Si se compara con la rentabilidad del español (línea verde) se puede observar como entre 2012 y 2013 las diferencias fueron muy significativas (de acuerdo con la ley de oferta y demanda el bono alemán, al tener mucho menos riesgo, estaba más demandado y, por tanto, su precio era mucho más alto y su rentabilidad mucho más baja).

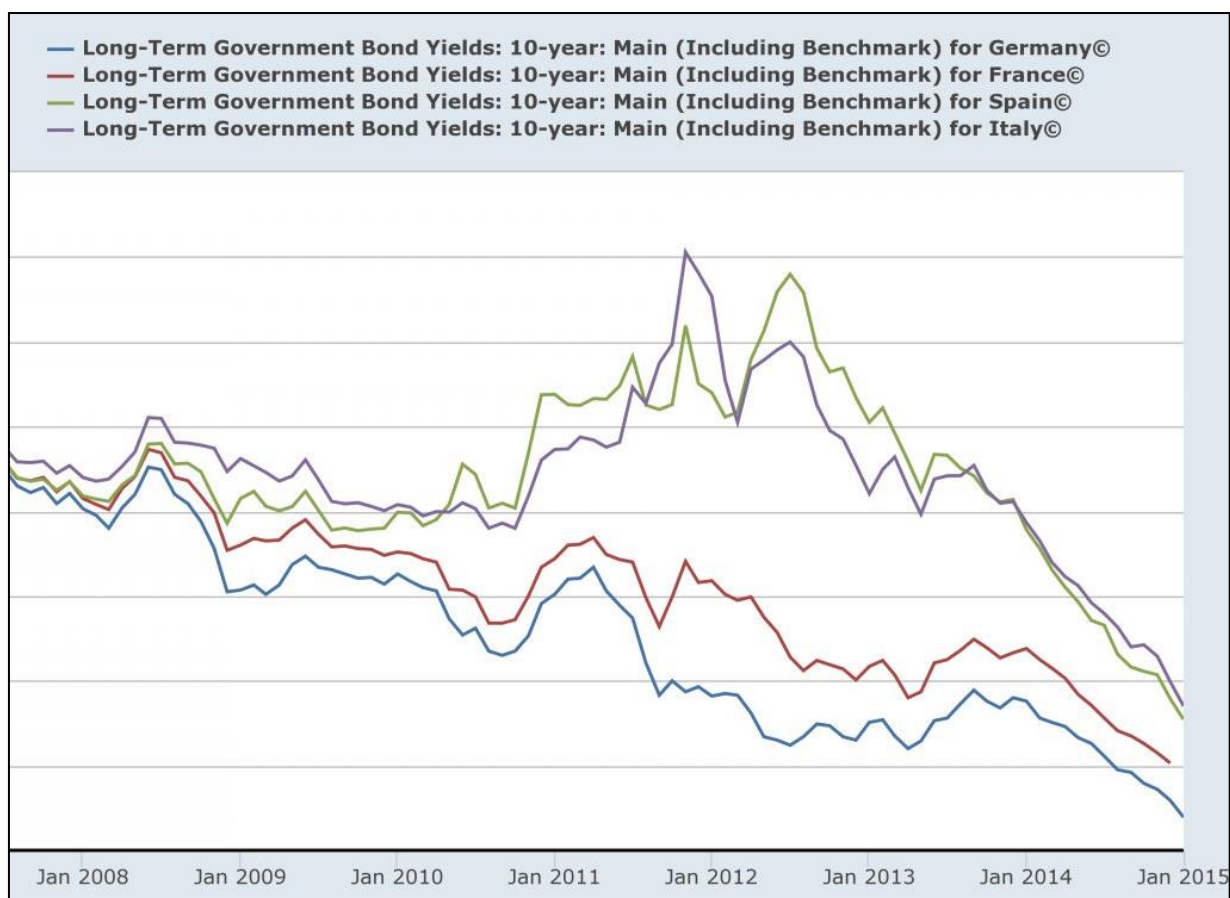


Ilustración 2: evolución rentabilidad bono 10Y España y bono 10Y Alemania (Fuente: research.stlouisfed.org)

Otro aspecto importante a tener en cuenta en la valoración de bonos es el uso de la Curva Cupón Cero (en adelante CCC), elemento principal de este proyecto. Esta es utilizada en muchos casos como **benchmark** en la valoración de los mismos y es usada para determinar el **spread** respecto a otros mercados (y por tanto evaluar posibles tendencias).

A la hora de estimar la rentabilidad de una inversión, y para evitar el **riesgo de reinversión**, las entidades financieras utilizan los “**tipos cupón cero**” para valorar los flujos. Estos tipos, no se obtienen en el mercado financiero, ya que no existen para horizontes temporales en el largo plazo, por lo que es necesario partir de la cotización de otros activos con gran **liquidez** (bonos gubernamentales, tipos interbancarios, **swaps**, etc.), con distintos **vencimientos**.

Para el caso de la zona Euro, es común el uso de los tipos del mercado interbancario (**Libor o Euribor**) para la construcción de la CCC. De este modo, las **recientes manipulaciones** destapadas sobre estos tipos [6], han tenido también un impacto relevante en la misma. Estas, que tenían el objetivo de distorsionar el curso normal de fijación de precios de los mismos afectaron, no solo a los derivados de tipo de interés sobre el Euro, sino también al tipo de interés de las hipotecas referenciadas al mismo. Se trató, de un escándalo a nivel europeo que culminó con la mayor sanción impuesta a diversas entidades financieras, por el **Banco Central Europeo**. De este modo, cuantificar el impacto que esto ha tenido en el sistema financiero actual ha sido, también, una labor de los principales reguladores.

Finalmente, es importante hacer hincapié en el estado actual de las finanzas, derivado, principalmente, del **avance en las tecnologías y de los nuevos paradigmas**. Nos encontramos ante una nueva etapa, en contraposición al mundo tradicional, donde el objetivo es explicar los fenómenos actuales e indicar el camino adecuado para la toma de decisiones financieras. Para llegar a estas explicaciones, es necesario desarrollar modelos cuantitativos que utilicen el lenguaje científico, un razonamiento adecuado y verificaciones empíricas. Las técnicas de la **Inteligencia Artificial** se han forjado, por tanto, con un **pilar fundamental** en la actividad empresarial. Son capaces de considerar la información cualitativa y a partir de ella diseñar e implementar modelos estadísticos y computacionales que asistan a los decisores en la resolución de los diversos problemas empresariales.

En la actualidad, la Inteligencia Artificial se está **aplicando a numerosas actividades** realizadas por los seres humanos (diagnóstico médico, percepción remota, logística, etc.), incluso aplicadas al campo de la gestión financiera empresarial [7][8]. En esta área podemos destacar, entre otras, las siguientes:

- Análisis de riesgos.
- Análisis de tendencias.
- Clasificación de bonos y obligaciones
- Predicción de acciones en el mercado de valores.
- Modelos de construcción de **carteras** eficientes.
- Detección de fraudes.

1.2.2 Marco regulador

Toda esta colocación y comercialización de bonos está regulada, en el caso español, por la **Comisión Nacional del Mercado de Valores [9]** (en adelante, CNMV). Los estados, así como entidades privadas no pueden emitir deuda de acuerdo a las características que deseen, o en el momento y forma que determinen. Existen leyes y normas que establecen los requisitos que todo emisor debe tener, así como la forma de los productos, mercados en que estos pueden negociarse, etc. [10] Estos últimos están organizados y controlados y existen leyes que amparan a los inversores potenciales que deseen canalizar sus ahorros negociando en los mismos. La **Ley 24/1988, de 28 de julio, del Mercado de Valores [11]**, tiene como objetivo, por ejemplo, la regulación de los sistemas españoles de negociación de instrumentos financieros y las normas relativas a estos últimos (así como los emisores de estos productos). Así mismo, la **Circular 6/2011, de 12 de diciembre [12]**, establece normas contables, estados financieros de información reservada y pública y cuentas anuales de las sociedades relacionadas con la negociación en mercados financieros.

Por otro lado, es muy importante, en este entorno, la labor de supervisión y regulación realizada por los miembros del Sistema Europeo de Banco Centrales (SBCE) y el Eurosistema. El primero, está compuesto por el Banco Central Europeo (BCE) y todos los bancos centrales nacionales de los estados europeos (entre ellos el Banco de España), independientemente de que hayan adoptado el Euro. El Eurosistema, por su parte, sí agrupa, solo al BCE junto con los bancos centrales nacionales de los Estados miembros de la unión monetaria. En el caso de España, mencionar que el banco central nacional es el Banco de España.

De este modo, el BCE [13] constituye el núcleo del Eurosistema y del SEBC, y su objetivo principal consiste en mantener la estabilidad de precios (inflación $<2\%$). Se encarga de la supervisión de las entidades de crédito de la zona euro, contribuyendo en asegurar el sistema bancario de los distintos países, así como a la estabilidad del sistema financiero de la UE.

Por su parte, el Banco de España [14] colabora de manera muy estrecha con la CNMV dentro del marco de cooperación establecido entre ambas instituciones. Su labor de regulación y supervisión tiene por objeto promover entidades sólidas y seguras, minimizar los riesgos sistémicos, proteger a los depositantes y garantizar el equilibrio competitivo y la eficiencia de los mercados.

Destacar también la figura del **Sistema Europeo de Supervisión Financiera [15]** (SESF) creado como un sistema de autoridades macro-prudenciales y micro-prudenciales descentralizado y de múltiples niveles para garantizar una supervisión financiera coherente dentro de la UE. Los diferentes niveles pueden separarse atendiendo al ámbito de supervisión y regulación sectorial (banca, seguros y mercados de valores) y al área de supervisión y regulación (europea y nacional).

1.3 Objetivos:

Los objetivos de este proyecto pueden dividirse en dos secciones, cada una de ellas enfocando el mismo desde distintas perspectivas. La primera, desde el punto de vista financiero (y por tanto más cualitativo); el segundo, más técnico, centrándose en las diferentes metodologías a implementar y en los resultados a obtener.

1.3.1 Objetivos financieros

El **principal objetivo** de este proyecto es el de **construir la Curva Cupón Cero para el Euro**, mediante la técnica *Bootstrapping*, usando, para ello, datos sobre tipos del mercado interbancario ("depos", FRA e IRS) por considerarse de gran liquidez. Se busca también, y siguiendo con lo anterior, comprobar cómo de relevante son los tipos que se usen para calcular la misma, variando los datos de entrada y observando cómo afectan a su forma.

A partir de esta curva se busca analizar cómo distintas situaciones han influido en la misma.

Por un lado, se pretende observar la **evolución de los mercados de Renta Fija de la zona Euro en los dos últimos años**. Para ello, se van a analizar los distintos **movimientos que haya sufrido la CCC**, detectando acontecimientos relevantes ocurridos en el pasado, que hayan podido afectar a su curvatura. Por ejemplo, se intentará comprobar si los máximos observados en las primas de riesgo europeas influenciaron, también, a los tipos que forman la curva. Así mismo, se intentará dotar de credibilidad, o por el contrario, rechazar, las diversas teorías surgidas sobre las implicaciones de esta curva.

Además, y como continuación a lo anterior, se pretende, a partir del comportamiento observado, poder **predecir el valor futuro de estos bonos**. El objetivo es el de, en función de la predicción, comprar o vender los mismos en los mercados de Renta Fija para obtener beneficios (tal y como se suele operar, más comúnmente, con activos de Renta Variable).

1.3.2 Objetivos informáticos

Los objetivos metodológicos y de rendimiento de esta investigación están relacionados, tal y como se ha mencionado con anterioridad, con la rama de **Inteligencia Artificial** dentro del área de Informática. El objetivo, es el de poder **analizar distintas funciones de aproximación y modelos de predicción**, con el fin de determinar los casos en que cada uno de estos es más adecuado (en función del rendimiento obtenido).

Para ello, en primer lugar, se analizarán distintas funciones de aproximación de la Curva Cupón Cero. Se desarrollarán tanto interpolaciones sencillas (lineal y exponencial) como otras basadas en **Redes de Neuronas Artificiales** (a continuación RNA).

Por otro lado, se van a implementar modelos de predicción basados en las ya comentadas RNA, que se basan en series temporales para determinar series futuras. Con esto, se busca analizar el funcionamiento de las Redes de Neuronas Artificiales implementadas en **MATLAB**, desde cómo deben utilizarse hasta cuáles son las más adecuadas para cada uso.

También es objetivo desarrollar una **interfaz** que permita a los usuarios hacer uso de los modelos desarrollados para la investigación. De este modo, se podrán **probar las diferentes técnicas implementadas**, comprobando su uso y funcionamiento.

1.4 Medios para el desarrollo:

Los medios utilizados para el desarrollo de este proyecto han sido un ordenador, la herramienta de software matemático MATLAB, y un terminal de Bloomberg® (que ha permitido el acceso a toda la información necesaria). En el Anexo II, se adjunta un informe detallado del presupuesto de este proyecto.

1.4.1 Medios Hardware

1.4.1.1 Ordenador

Procesador	Intel Core i5-4440 (3.10 GHz)
Memoria RAM	8 GB
Disco Duro	1 TB
Sistema Operativo	Windows 7 (64 bits)

Tabla 1: Características del equipo de desarrollo

Coste aproximado del equipo: 650€

1.4.1.2 Terminal Bloomberg®

Se trata de un ordenador personalizado junto a un teclado especial con teclas de función y lector de huellas. Además, incorpora un monitor Bloomberg® con una configuración de dos pantallas.

Dicho terminal se alquila junto con la suscripción al servicio (por un periodo de dos años), por lo que para la elaboración de este proyecto ha sido cedido por *Santander Asset Management* S.A.

Tamaño	19'' x 2 monitores
Dimensiones	49.28 x 84.40 x 30.04
Resolución	1280 x 1024 a 60 Hz
Modo Video	VGA (640x480) 75 Hz SVGA (800x600) 75 Hz XGA (1024x768) 75 Hz SXGA (1280x1024) 75 Hz

Tabla 2: Características monitores Bloomberg®.

Procesador	Intel Core i3-3220T (2.8 GHz)
Memoria RAM	4 GB
Disco Duro	245 GB
Sistema Operativo	Windows 7 Enterprise (32 bits)

Tabla 3: Características terminal Bloomberg®

Coste aproximado del equipo: se detalla en el software de Bloomberg®.



Ilustración 3: terminal Bloomberg®

1.4.2 Medios Software

1.4.2.1 MATLAB:

Versión	r2015a
Sistema Operativo	Windows
Tipo de licencia	Uso personal
Complementos	Neural Network Toolbox Financial Toolbox

Tabla 4: características MATLAB

Coste licencia y complementos: 163 €

1.4.2.2 Servicio Profesional de Bloomberg®

Software financiero diseñado por Bloomberg® LP (compañía estadounidense) capaz de monitorizar y analizar datos de los distintos mercados financieros en tiempo real [16]. Permite acceder, también, a noticias, datos históricos e incluso negociar a través de su plataforma de negociación electrónica. En este proyecto ha sido utilizado para acceder tanto a cotizaciones históricas como a otros datos de interés de distintos activos.

Coste Bloomberg® Professional: 2000€/mes

1.5 Estructura del documento:

A continuación se explica el contenido de cada uno de los apartados de este documento, con el fin último de facilitar al lector la comprensión y búsqueda de información a lo largo del mismo.

Esta memoria se compone de ocho secciones cuyo contenido se detalla a continuación.

1.5.1 Introducción

Se trata de la primera parte de este documento, cuyo objetivo es el de introducir al lector en el trabajo realizado.

Para ello, se comienza exponiendo cuáles han sido las **motivaciones** que han llevado a realizar este trabajo así como conceptos básicos de los que se parten y situación socio-económica actual (**ambientación**). Además, se resumen, claramente, cuáles son los **objetivos** que se pretenden conseguir, cuáles son los **medios utilizados** para su realización y, finalmente, la **estructura** completa de la memoria.

1.5.2 Estado del Arte

Se trata de una visión global sobre el contexto en el que se enmarca este proyecto. Se detallan desde cuáles son los **conceptos de partida, hasta posibilidades de diseño, decisiones tomadas y posibles aplicaciones**.

En este apartado se indaga, principalmente, en aquellos conceptos financieros que han servido como base para la elaboración de este proyecto y, además, en las investigaciones previas que ya se han llevado a cabo y que han servido como punto de partida. Se puede decir, por tanto, que se trata de la parte más cualitativa del documento (y por tanto enfocada desde una visión más empresarial o financiera).

1.5.3 Tecnologías utilizadas

Esta sección describe cuál ha sido la **tecnología utilizada para el desarrollo del proyecto**. Se presenta como un conjunto de pequeños manuales, de carácter técnico, que recogen el funcionamiento de las distintas herramientas y bibliotecas empleadas en la implementación.

1.5.4 Sistema desarrollado.

Se trata de la parte más técnica, junto con la sección anterior, de esta memoria. En esta se explican cada uno de los **módulos implementados**, cuáles son los inputs necesarios para su funcionamiento y cuáles son los resultados que se extraen de los mismos.

Además se detalla cuál es el **flujo de ejecución, relación entre los distintos módulos, relaciones entre los distintos sistemas y con el exterior**.

1.5.5 Resultados y discusiones

Explicación y discusión sobre los resultados obtenidos con cada una de las pruebas realizadas durante la investigación. Recoge desde las cometidas para comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los módulos hasta las utilizadas para medir el rendimiento de cada uno de los modelos implementados.

Para ello se describen, entre otros, los **errores cometidos** con cada uno de los métodos de interpolación, las **desviaciones en los resultados** obtenidos (en comparación con datos históricos conocidos) y la **fiabilidad de los métodos de predicción** empleados (mediante el uso de muestras acotadas).

Desde un punto de vista financiero, también se realiza un análisis sobre las curvas obtenidas durante la investigación, comprobando si su forma está condicionada por determinados hechos acontecidos.

1.5.6 Conclusiones y futuros trabajos

El apartado de conclusiones y futuros trabajos trata de explicar qué **objetivos de los expuestos en el primer apartado se han visto cumplidos y en qué medida**. Para ello se detallan cómo se han ido cumpliendo, y si su consecución ha estado en línea con los objetivos marcados al comienzo del proyecto.

Se exponen, además, cuáles son las **posibles mejoras en el trabajo realizado**, qué aspectos desarrollados pueden ser susceptibles de cambios o qué otras aplicaciones pueden darse a las Curvas Cupón Cero dibujadas.

1.5.7 Bibliografía

Este apartado contiene una referencia a todas las fuentes que han sido consultadas a la hora de realizar este proyecto, de modo que puedan ser consultadas en caso de que el lector lo crea conveniente.

1.5.8 Anexos

Por último, habrá un apartado de **anexos**, que incluirá contenido relevante para el proyecto no incluido en la propia estructura.

Los anexos que contiene son un **glosario de acrónimos y definiciones**, un **desglose del presupuesto de este proyecto y planificación del mismo** y una **traducción al inglés** de la introducción y conclusiones de esta memoria.

2 Estado del arte

Esta sección, realiza un análisis sobre la **situación actual de los distintos conceptos abordados en este proyecto**. Se expone la misma, tanto desde es un punto de vista financiero (haciendo hincapié en determinados aspectos que se han tenido en cuenta) como desde un punto de vista tecnológico (explicando las distintas técnicas utilizadas y su estado actual).

Para ello, se puede distinguir **una primera parte más cualitativa** donde, tal y como he comentado, se abordan temas financieros (que han servido como base en la realización de este trabajo). Se explica tanto la situación actual de los mercados financieros como aquellos conceptos básicos sobre la CCC, usos y estudios anteriores sobre la misma, entre otros.

Por otro lado, se puede diferenciar **una parte más técnica**, que enlaza con la anterior mediante el análisis de las **finanzas cuantitativas** (y su estrecha relación con la Informática). Además, se hace referencia a las técnicas de Inteligencia Artificial que se han usado en esta investigación, así como el programa de desarrollo que se ha empleado para la misma (**MATLAB**).

2.1 Mercados financieros

Los mercados financieros son un componente principal dentro del **sistema financiero** actual. En ellos, se compra y se venden activos financieros que se instrumentalizan en títulos negociables y es, por tanto, el lugar donde se fija el precio de los mismos (en función de la oferta y de la demanda).

Existen **múltiples formas de clasificar** los mercados financieros [17] y no es objeto de este documento entrar en materia sobre las mismas. Simplemente, mencionar las dos formas de clasificación que, actualmente, son consideradas las más relevantes.

- **Por las características de los activos que se negocian**
 - Mercados monetarios: donde se negocian activos a corto plazo (con vencimiento no superior a un año) y, por tanto, que gozan de una gran liquidez y un bajo riesgo.
 - Mercados de capitales: son en los que nos centraremos en este documento. En él se negocian activos a largo plazo, y en consecuencia, con mayor riesgo que los anteriores. Podemos distinguir entre los mercados de crédito a largo plazo (formados, principalmente, por préstamos de entidades bancarias, operaciones de **leasing**, etc.) y los mercados de valores, tanto de Renta Fija (el cual, se detalla a continuación) como de **Renta Variable** (y que no entra dentro del ámbito de este trabajo).
- **Según la fase de negociación de activos**
 - Mercados primarios: ofrecen activos de nueva creación (emisiones de capital, ampliaciones, etc.)
 - Mercados secundarios: se negocian activos que ya están creados y, por tanto, son aquellos que dan posibilidad a los inversores, no solo de adquirir, sino también vender (y beneficiarse, también, con este tipo de posiciones).

A continuación, se detalla el funcionamiento de los mercados financieros que sí han constituido un pilar fundamental en la investigación llevada a cabo: mercados de valores de Renta Fija y mercados interbancarios.

2.1.1 Mercados de Deuda y Renta Fija

Se trata de aquellos lugares, físicos o electrónicos, donde se negocian **activos financieros de deuda**, ya sean emitidos por el estado y organismo públicos, como por aquellas grandes empresas privadas que deseen financiarse a través de este tipo de instrumentos [18].

Tal y como he comentado, existen diversas formas de clasificar los mercados financieros. En el caso de los mercados de Renta Fija, esta división es idéntica; en función del tipo de activos podemos distinguir mercados monetarios (con deuda a c/p y poco riesgo o, por lo menos, que gocen de una gran liquidez) y de capital (para negociar deuda con vencimiento a medio y largo plazo). Así mismo, podemos clasificarlos, en mercados primarios y secundarios. En este caso, nos vamos a centrar en este segundo tipo, ya que son los que permiten la compraventa de activos que cumplan, legalmente, con las características necesarias para ser negociados. De este modo, tal y como avancé en la introducción, serán los que permitan especular con estos instrumentos y, por tanto, obtener beneficios en función de variaciones en su precio.

Mercado Monetario	Mercado interbancario	Mercado de Depósitos	DIT's No Transferibles
		FRA	FRA
		Mercado Monetario de Deuda Pública Anotada	Letras, strips
		Mercado de pagarés de empresa (AIAF)	Pagarés
Mercado de Capitales	Mercado de valores de Renta Fija	Mercado Bursátil	Bonos, obligaciones, strips
		Mercado de Deuda Pública Anotada	Bonos, obligaciones estatales
		Mercado no oficial AIAF	Bonos, obligaciones empresariales

Tabla 5: clasificación de los mercados de deuda y Renta Fija en España (Fuente: Expansión)

Es importante mencionar que, un inversor particular que desee comprar o vender en el mercado secundario, tendrá que acudir a un **intermediario autorizado para operar**, es decir, que sea miembro del mercado deseado [19]. Para trabajar con cualquiera de estos deberá normalmente abrir una **cuenta de valores** y especificar la cuenta de efectivo a la que se cargarán o abonarán los movimientos de dinero que originen sus transacciones. El intermediario puede aceptar sus órdenes aunque no disponga de suficiente saldo. La liquidación de operaciones de Renta Fija se produce, dependiendo de los activos, un día o dos días laborables después de la fecha de la transacción, por lo que no será hasta este momento cuando deberá disponer de la cuantía determinada.

2.1.1.1 Mercados de valores de Renta Fija

Comprenden la negociación de todos los títulos emitidos a medio y largo plazo, ya sean de **deuda pública o de deuda empresarial [20]**.

Focalizando el análisis en aquellos mercados de Renta Fija secundarios, podemos distinguirlos en función de los instrumentos de Renta Fija en el que estén especializados:

- **Mercado bursátil de Renta Fija:** se trata de los mercados de Renta Fija más típicos (a través de las cuatro bolsas de valores españolas) donde se negocian deuda pública y privada así como, de forma exclusiva, **bonos convertibles**.
- **Mercado de anotaciones en cuenta:** donde se negocia la deuda pública anotada en el **Banco de España**. Aunque este tipo de títulos pueden ser contratados mediante diversas formas (plataformas electrónicas, negociación directa, plataformas de **Bolsa de Madrid**), la Central de Anotaciones (CADE) es la encargada de registrar los valores admitidos a negociación en el Mercado de Deuda Pública.
- **Mercado de la AIAF:** se negocian pagarés de empresa, cédulas hipotecarias y diversos tipos de bonos y obligaciones emitidos por entidades financieras y no financieras, públicas o privadas, así como las participaciones preferentes y las titulizaciones.

Puesto que se puede comprar y vender Renta Fija a otros inversores a través de los **intermediarios financieros autorizados**, serán de mayor interés aquellas que coticen en alguno de estos mercados (y por tanto se pueda tener información sobre los precios en los distintos mercados).

Mencionar que, en España, **Bolsas y Mercados españoles [21]** (en adelante BME) es la compañía que opera en los mercados financieros y, por tanto, que dirige y gestiona los mercados de valores y sistemas financieros en España [22]. Dentro de la Renta Fija, podemos distinguir los siguientes mercados:

- **AIAF [23]:** mercado español de referencia tanto para el sector privado como para los organismos públicos autonómicos y locales en España. Se trata de un mercado regulado sometido, por tanto, a una serie de controles por parte de las autoridades. La cotización, negociación y contratación de las operaciones se realiza de manera descentralizada contando, en la actualidad, con un total de ochenta miembros (principales bancos, cajas de ahorros, y sociedades y agencias de valores de nuestro sistema financiero). Se puede operar en el mismo a través de las plataformas de contratación electrónica **SEND [24]** y **SENAF [25]**.
- **MARF [26]:** mercado alternativo de Renta Fija, dirigido por AIAF. Se trata de un mercado no oficial que permite, a diferencia del anterior, una mayor simplicidad y una reducción de costes a aquellas empresas que deseen financiarse mediante la emisión de títulos de Renta Fija.

Por último, es importante analizar las razones que determinan el valor de un bono en el mercado secundario y que estará determinado por dos variables fundamentales: **precio y rendimiento [27]**. El **precio** de un bono se mueve siempre **en contra a su rendimiento**. Esto es lógico si entendemos el precio como una función relacionada de forma directa con los pagos periódicos que su posesión da derecho a percibir. Si creemos que los tipos de interés van a bajar, los bonos de mayor antigüedad (y por tanto que están ofreciendo cupones mayores a los previstos) tendrán más valor. Por el contrario, si creemos que los tipos de interés de mercado van a subir, los bonos antiguos perderán valor (ya que estarán ofreciendo pagos inferiores a los que se prevé que lo harán las nuevas emisiones). De este modo, y enlazándolo con uno de los objetivos principales de este proyecto, es fundamental esta labor de predicción a la hora de valorar un bono. Si podemos adelantarnos a las tendencias del mercado (y por tanto a las posibles subidas y bajas en el tipo de interés), podremos aprovechar oportunidades antes de que otros puedan hacerlo (y por tanto comprar o vender bonos a precios ventajosos para nosotros).

Sin embargo, es importante mencionar que **existen otros factores**, que varían a lo largo del tiempo, y que pueden afectar a la valoración de un bono. Por ejemplo, es lógico pensar que el precio del mismo estará también relacionado con **el riesgo de crédito**. Este por un lado estará condicionado por la valoración del emisor (que no se espera que varíe drásticamente a lo largo del tiempo salvo acontecimientos inesperados). Por otro lado, se verá afectado, y como es lógico, por el **valor temporal del dinero**. Por ejemplo, si un bono acaba de pagar cupón (y no paga el siguiente hasta dentro de un año) su precio será menor que el mismo bono que se vende en el mercado una semana antes y que, por tanto, paga cupón en siete días. Este efecto es el denominado **cupón corrido** y, aunque debe ser un factor que también debe tenerse en cuenta, puede ser predecible más fácilmente que el anterior (las fechas de pago son conocidas por lo que, simplemente, habría que cuantificar el efecto). Otro ejemplo, y que enlaza todos las casuísticas anteriores, es que no será igual el precio de un bono con vencimiento a un año, que el mismo con vencimiento a 10 (en el segundo caso tendrá menos liquidez, su precio será menor y su rentabilidad más alta).

2.1.2 Mercados monetarios

Se tratan de mercados a los que solo tienen accesos grandes instituciones e **intermediarios financieros especializados [28]** donde se negocian activos que gozan de una gran liquidez y un bajo nivel de riesgo. Permite, entre otros, alcanzar los objetivos de política monetaria a las autoridades financieras o permitir la financiación a entidades, tanto públicas como privadas, a corto plazo.

Dentro de este tipo de mercados podemos distinguir entre los mercados de deuda pública, los **mercados interbancarios** y los de activos empresariales a corto plazo. A continuación se explican los segundos, por ser de **dónde se han obtenido los inputs necesarios** para el cálculo de la Curva Cupón Cero (y que se detallan en otros apartados de este documento). Al tratarse de mercados muy líquidos y de poco riesgo, pueden usarse como referencia para calcular el tipo de **interés de mercado libre de riesgo** y, por tanto, establecer nodos válidos a la hora de calcular la CCC.

2.1.2.1 Mercado interbancario

Se trata de un mercado mayorista donde, solamente, intervienen entidades de crédito. Permite, entre otras, establecer el precio del dinero a través de los préstamos que las entidades financieras se realizan entre ellas (generalmente a plazos de un día o una semana). Se trata de un mercado organizado que, en Europa, liquida sus operaciones a través de sistema TARGET2/SWIFT [29] (**System Worldwide International Financial Transactions**).

Este mercado está dividido en **distintos segmentos**, diferenciados entre sí por el tipo de instrumentos que en ellos se negocia [30].

2.1.2.1.1 Mercado de depósitos

Mercado a nivel europeo donde las entidades de crédito se prestan dinero unas a otras (siempre a plazos inferiores a un año).

Adquiere una gran relevancia ya que los tipos de interés que se derivan de este mercado (**tipos “depo”**) son referencia para muchos productos. Los más importantes que se generan son el tipo **EONIA** [31] y el **EURIBOR** [32][33]. Este último es quizás el más común por ser utilizado como **benchmark** para múltiples operaciones financieras (FRA, hipotecas...).

2.1.2.1.2 Mercado de FRA

El FRA (Forward Rate Agreement) es un contrato que implica un acuerdo hoy sobre un préstamo futuro. Se pacta el tipo de interés, cantidad prestada y periodo prefijado (fecha de inicio del préstamo y fin del mismo).

Permite asegurar un tipo de interés en el futuro para una operación de préstamo aunque, llegada la fecha de vencimiento, no se realiza el mismo, sino que se liquida por diferencias. Típicamente, suelen realizarse acordando el valor del Euribor en el futuro para un plazo determinado. Llegada la fecha de inicio del supuesto préstamo, y en función del valor del Euribor en ese momento, en caso de ser más alto que el pactado paga la diferencia el comprado, mientras que si es inferior lo hace el vendedor del FRA.

El cálculo de esa diferencia se hace de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Importe liquidación} = \frac{A * (i_r - i_f) * \frac{DIAS}{BASE}}{1 + i_r * \frac{DIAS}{BASE}}$$

Ecuación 1: importe liquidación FRA

Donde:

i_r = Es el tipo de interés de referencia en la fecha de liquidación.

i_f = Es el tipo de interés acordado en el FRA.

A = Es el importe teórico del contrato.

DIAS = Es el número de días del periodo de garantía del contrato.

BASE = Es el número convencional de días del año (típicamente 360).

Mencionar que este tipo de contratos, además, permiten realizar la operación inversa, es decir calcular el valor del Euribor, en función del valor del FRA. Por ejemplo, un FRA 1x7 (se acuerda un préstamo que se hará efectivo dentro de un mes y por un periodo de seis meses), permite

calcular el valor que tendría el Euribor a 7 meses (en función del precio que se le ha dado valorando la situación actual), en caso de que existiera.



$$(1 + Eur\ 7m * \alpha_0^7) = (1 + Eur\ 1m * \alpha_0^1) * (1 + Fra\ 1x7 * \alpha_1^7)$$

Ecuación 2: cálculo tipo implícito en un FRA

$$\text{Donde: } \alpha_x^y = \frac{\text{días entre } x \text{ e } y}{\text{total días año}}$$

2.1.2.1.3 Mercado de repos y simultáneas

Mercado donde se realizan cesiones temporales de activos similares en espíritu a los depósitos. Una parte cede a la otra un título (típicamente deuda) durante un corto periodo de tiempo con un pacto de recompra llegado el vencimiento. El precio de recompra se acuerda de forma implícita en función del tipo de interés de la operación. Esta cesión da derecho al cobro de cupones por la persona que, en el momento de liquidación, fuera poseedor del activo.

2.1.2.1.4 Mercado de swaps (IRS)

Contrato por el cual dos partes se comprometen a intercambiar una serie de cantidades de dinero en fechas futuras. Normalmente estos intercambios están **referenciados a tipos de interés** (*Interest Rate Swap*) y es común aquellos de tipo fijo/variable.

Los swaps fijo/variable consisten en el compromiso de dos partes de pagar o recibir un tipo fijo sobre un **nocional** prefijado y de recibir o pagar un tipo variable sobre otro nocional (que típicamente será el mismo que el primero). Además son muy comunes aquellos en los que cada pata (fija y variable) realizan el pago en una divisa diferente (por ejemplo EUR/USD).

Por ejemplo, son muy típicos los IRS referenciados al Euribor. En estos, una parte (pata fija) se compromete a pagar anualmente un tipo fijo sobre N, y recibir el Euribor a 6 meses (que había 6 meses antes) semestralmente sobre esa misma N (y dividida entre 2 al tratarse de pagos semestrales). Por otro lado, otra parte (pata variable) se compromete a pagar semestralmente el Euribor a 6 meses que se fijó 6 meses antes y a recibir, por el contrario, el tipo fijo sobre N acordado en el contrato.

Este tipo de contratos, aunque implican una serie de pagos en el corto plazo, se mantienen durante grandes periodos de tiempo (hasta 40 años). Además, debido a esto, permiten obtener, de forma aproximada, valores del Euribor en plazos más largos a 12 meses (que son los calculados en la zona Euro). Por ejemplo, en función del precio de mercado de un swap a 10 años (y aplicando una serie de cálculos que se explicarán más adelante), se puede determinar cuál sería el valor del Euribor si se calculara para ese plazo (este tipo de acuerdos suelen realizarse de modo que ambas partes salgan beneficiadas por lo que en función de los tipos de interés su valoración se verá modificada).



La valoración de los IRS difiere, en gran medida, de los productos financieros convencionales. Su precio de mercado es el valor actual de todos los flujos pendientes de recibir/pagar (que puede calcularse mediante diversos métodos), descontados con la Curva Cupón Cero de la divisa en que esté expresado. En los casos en el que el swap esté expresado en dos divisas (cada pata paga en una moneda) se valorará como si se trataran de dos IRS distintos, teniendo que conocer, por tanto, la Curva Cupón Cero de cada una de las divisas.

2.2 Curva Cupón Cero:

La **Estructura temporal de tipos de interés** (en adelante ETTI) es aquella que relaciona tipos de interés al contado con diferentes plazos. La forma de obtener estos tipos es a través de bonos cupón cero. Puesto que no pagan cupones intermedios, permite determinar cuál es el tipo de interés actual (se extrae en función de su rentabilidad) en el plazo igual a su vencimiento. Dado que la ETTI suele denominarse en la práctica Curva Cupón Cero (CCC), a lo largo de todo el documento, se hará uso de ambos términos refiriéndose al mismo concepto [34][35][36].

La CCC muestra, en un momento dado, la **relación entre estos tipos de interés a diferentes plazos** (o lo que es lo mismo, rendimientos de los bonos cupón cero a diferentes plazos). Si tuviéramos los cupones cero a cualquier fecha futura, seríamos capaces de valorar cualquier instrumento de Renta Fija o hallar el valor presente de cualquier flujo futuro. En consecuencia, se podría establecer el valor futuro del dinero en función de la misma, de modo que se pudiera valorar de forma correcta y justa múltiples activos financieros (que liquidarán sus pagos en el futuro).

El problema de esta curva radica en que **no es observable en el mercado**. No hay productos cupón cero a todos los plazos por lo que se requiere de una estimación de la ETTI a partir de activos de Renta Fija muy líquidos en el mercado.

Para construirla se suelen usar bonos de la misma **calidad crediticia** y liquidez a diversos vencimientos (en España, por ejemplo, letras del tesoro, bonos y obligaciones del estado). Al ser activos del estado y, en consecuencia, estar libre de riesgo (gozando de una gran liquidez) esta ETTI es la curva base usada para el **análisis de riesgos y valoración de instrumentos lineales**.

Por otro lado, es muy usual, acudir al **mercado interbancario** (mercado con gran liquidez y de bajo riesgo) para construir la CCC. Se suele partir de todos los IRS del mercado (usualmente existen para todos los vencimientos anuales) obteniendo así la curva genérica para la moneda en que estén expresados, por ejemplo, la ETTI para el Euro.

Podemos decir, que la CCC es usada por todas las entidades financieras, de inversión y gestión, ya que permite analizar **riesgos de crédito y de mercado**, principalmente, así como valorar determinados activos complejos. Se trata de un instrumento imprescindible en el día a día de las grandes entidades y, por tanto, su correcta construcción adquiere una gran relevancia. De los resultados que aporte dependerán decisiones importantes para el negocio que impactarán, de forma directa en las cuentas de resultados (por ejemplo, una mala valoración, mala estimación de una medida de riesgo...).

En la elaboración de este proyecto, puesto que los activos que se han valorado posteriormente han estado expresados en Euro, **se ha optado por construir la CCC del Euro**. Esta permitirá calcular el valor del dinero (en este caso del Euro) a lo largo del tiempo. Para ello, tal y como se ha comentado se ha hecho uso de los IRS (previo tratamiento) así como de los tipos **Euribor** a distintos plazos. Se ha **decido utilizar estos segundos** ya que permiten obtener de forma directa (por ser el **tipo spot** de interés que las entidades están dispuestas a prestar a un plazo,

sin pagos intermedios) **nodos de la curva** para plazos inferiores a doce meses (el plazo mínimo de los IRS es un año).

Mencionar que algunas entidades financieras, usan para el cálculo de los primeros puntos de la curva el tipo **Libor [37]** en lugar del **Euribor**. Esto es debido, principalmente, a varios motivos:

- Por un lado, el Libor era calculado, para mayores plazos que el Euribor (por ejemplo, 4 meses, 7 meses, etc.).
- Además, el Libor se calcula para 5 divisas distintas (USD, GBP, EUR, JPY, CHF) lo que permite usar el mismo input para calcular curvas de diferentes monedas (no solo para el Euro).

Sin embargo, la **elección ha estado fundamentada** en otros aspectos.

- Desde el 2013, los **plazos del Libor** se redujeron siendo, en la actualidad, incluso **menos que los del Euribor** (no tiene vencimiento a 2 semanas).
- Aunque es cierto que el Libor ofrece tipos para diferentes divisas, este proyecto solo pretende construir la CCC para el Euro. Por consiguiente, esta ventaja no es válida en este contexto.
- Por último, se ha considerado que el **Euribor es una medida más fiable que el Libor** (en la zona Euro). Este último es fijado, únicamente, por 16 bancos británicos (que pertenecen a la Asociación de Bancos Británicos), mientras que el Euribor lo fijan los 26 bancos principales que operan en Europa. Es lógico pensar que estos últimos representarán, más fielmente, los tipos de interés de la zona Euro y, por tanto, será un **input de mayor calidad** para la construcción de la curva.

2.2.1 Alternativas de diseño para la construcción de la curva

A continuación se detallan **distintas formas de construir la curva**, detallando cuáles han sido las elecciones tomadas y las razones que han llevado a ello. Para ello se han diferenciado entre los métodos de estimación (que permiten calcular puntos de la curva) y de interpolación o aproximación (que se encargan de unir esos puntos).

2.2.1.1 Métodos de estimación Curva Cupón Cero

Tal y como se ha comentado, la curva ETTI no existe en el mercado sino que hay que estimarla. Existen varios modelos propuestos y aplicados para la construcción de la misma. En este documento vamos a explicar dos de ellos, el que se ha usado en la investigación y otro adicional que se tuvo en cuenta durante el diseño (pero que al final fue el descartado) [38].

2.2.1.1.1 Bootstrapping

Se trata de la metodología más extendida y es la usada por las principales entidades financieras para la construcción de la curva. Se ha comprobado que las **estimaciones que se realizan son bastantes fiables** por lo que debido a esto ha sido la escogida para la investigación.

Consiste en un **método iterativo** en el que, paso a paso, se va construyendo la CCC. Para explicarlo partamos de un ejemplo sencillo que se puede resumir de la siguiente forma:

1. Hasta el año se tienen los tipos cupón cero (las letras del estado no pagan cupón).
2. Para el segundo año, donde ya no es posible obtener en el mercado un bono cupón cero, se usa un bono a 2 años. Este tendrá dos flujos, un pago de cupón a un año, y el pago del nominal al segundo. Puesto que conocemos el precio del bono (del mercado) y el cupón cero a un año (del paso 1) únicamente nos queda calcular el cupón cero a 2 años. Se trata de una ecuación con una sola incógnita donde solo hay que despejarla para obtener el nodo a 2 años de la curva.

$$\text{Precio Bono 2 años} = \frac{\text{cupon}}{(1 + z_1)} + \frac{\text{cupon} + \text{nominal}}{(1 + z_2)^2}$$

Ecuación 3: precio de un bono a 2 años

Donde:

z_1 : es el cupón cero para el año 1 (punto anterior de la curva).

z_2 : es el cupón cero para el año 2 (que hay que despejar).

3. Para el tercer punto (y así sucesivamente), procederemos de forma similar. En este caso, tenemos ya los tipos cupón cero a 1 y 2 años, conocemos el precio del bono a 3 años, por lo que solo hay que despejar el tipo cupón cero a 3 años.

$$\text{Precio Bono 3 años} = \frac{\text{cupon}}{(1 + z_1)} + \frac{\text{cupon}}{(1 + z_2)^2} + \frac{\text{cupon} + \text{nominal}}{(1 + z_3)^3}$$

Ecuación 4: precio de un bono a 3 años

Donde:

z_1 : es el cupón cero para el año 1 (calculado en el punto 1).

z_2 : es el cupón cero para el año 2 (calculado en el punto 2).

z_3 : es el cupón cero para el año 3 (que hay que despejar).

Por tanto, siguiendo el orden de menos a más plazo, se pueden ir calculando los tipos cupón cero a n años.

La única, pero importante **limitación** de esta ecuación es que si queremos ir calculando los tipos año a año (y dado que el cálculo de la ETTI es diario) será **muy complicado encontrar en el mercado bonos que venzan en un número exacto de años**. Es decir, si hoy quiero construir mi curva es, prácticamente imposible que se hayan emitido hoy mismo bonos a vencimiento 2, 3, 4 años. Podré obtener bonos que venzan dentro de 2 años, 3 meses y 5 días, por ejemplo, pero no serán válidos de acuerdo a esta metodología.

Este problema, sin embargo, desaparece en el caso de los IRS. Por definición, al ser sus plazos exactos a un año, es fácil aplicar el método para calcular la curva a partir de **par-swaps**. En este caso, dejaremos de construir una curva con riesgo estado, para construir una curva

interbancaria (de divisa). Puesto que esta es completamente válida para las entidades de crédito, debido a su simplicidad y efectividad, es el tipo de curva que típicamente construyen y, por tanto, la que se ha construido en este proyecto. Para el primer paso de este método, se usarán los tipos Euribor (desde una semana hasta doce meses) y, para plazos mayores a un año se irán calculando los nodos en función de los IRS (y aplicando las fórmulas explicadas).

2.2.1.1.2 Método matricial

Este método parte de la idea de que el **precio de un bono es el valor presente de todos sus flujos futuros**. Esto quiere decir que el precio será la suma de todos estos por sus correspondientes **factores de descuento** (obtenidos de la Curva Cupón Cero).

Así tendríamos lo siguiente:

$$\begin{aligned}P_1 &= a_{11} * d_1 \\P_2 &= a_{21} * d_1 + a_{22} * d_2 \\P_3 &= a_{31} * d_1 + a_{32} * d_2 + a_{33} * d_3\end{aligned}$$

Ecuación 5: precio bono según método matricial

Donde:

P_x = Precio de mercado del bono "x"

a_{xy} = Pago que el bono "x" da derecho a recibir en el año "y"

d_y = Factor de descuento obtenido de la CCC para el plazo "y" (es el que hay que calcular).

Esta misma fórmula puede expresarse de forma matricial:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} X \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix}$$

Ecuación 6: precio de un bono forma matricial

Pre-multiplicando por la matriz inversa, se obtiene los factores de descuentos que hacen falta para valorar los activos.

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}^{-1} X \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix}$$

Ecuación 7: factores de descuento forma matricial

Una vez obtenidos estos factores de descuento, fácilmente se puede calcular el tipo cupón cero correspondiente (y que será un punto de la curva). Por ejemplo:

$$d_3 = \frac{1}{(1 + r_3)^3}$$

Ecuación 8: cálculo tipo CC método matricial

2.2.1.2 Métodos para la obtención de puntos intermedios

Generalmente, la CCC se construye, por uno de los métodos anteriores, para los puntos estándar de la curva. Cualquier otro punto entre ellos se debe deducir de los anteriores, por ejemplo el tipo de interés a tres años y medio.

Existen diferentes formas de obtener todos estos nodos intermedios y, escoger el método adecuado, es uno de los temas recurrentes en múltiples investigaciones en torno a esta curva. A continuación se explican alguna de esas técnicas y cuáles son las nuevas que se desean probar con este proyecto (aunque luego se detallarán de forma más completa).

2.2.1.2.1 Interpolación lineal y exponencial

Son los métodos más sencillos y, por tanto, los **más utilizados** (normalmente la de tipo exponencial) por las principales entidades (aunque no ofrezcan muy buenos resultados).

Para calcular el tipo cupón cero de un punto no explícito, es decir que no ha sido calculado, se **interpola lineal o exponencialmente entre los dos puntos más próximos**.

Estos métodos han sido implementados en la interfaz diseñada con el fin de comprobar su rendimiento (en función del error cometido en la estimación). En la parte de resultados y discusiones se detallarán los resultados obtenidos (en comparación con otros métodos).

Sin embargo, adelantar que uno de los objetivos principales (y por el que se continúa investigando en este aspecto) es el de obtener una curva más lisa que esta. La razón es que la línea quebrada producto de la interpolación (sobre todo la lineal) originaría pequeños saltos en las valoraciones obtenidas de los bonos que no son aconsejables. Podrían inducir a oportunidades erróneas de arbitraje, ocasionando pérdidas relevantes.

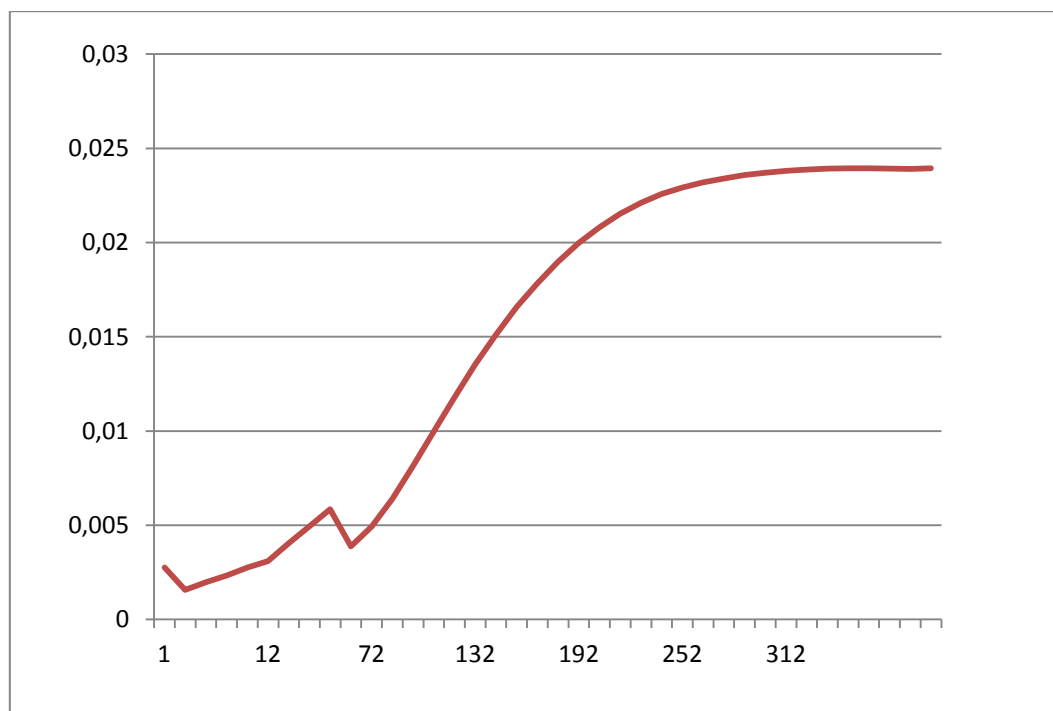


Ilustración 4: curva CCC con interpolación exponencial (Fuente: propia)

De este modo, se han comenzado a investigar otras técnicas basadas en aproximación. Mientras que los métodos que usan interpolación obligan a la curva a pasar por todos los puntos (quebrando la misma), usando **métodos de aproximación** se consigue crear una curva **más lisa**, que pase lo más cerca de los puntos aunque no necesariamente la atraviesen.

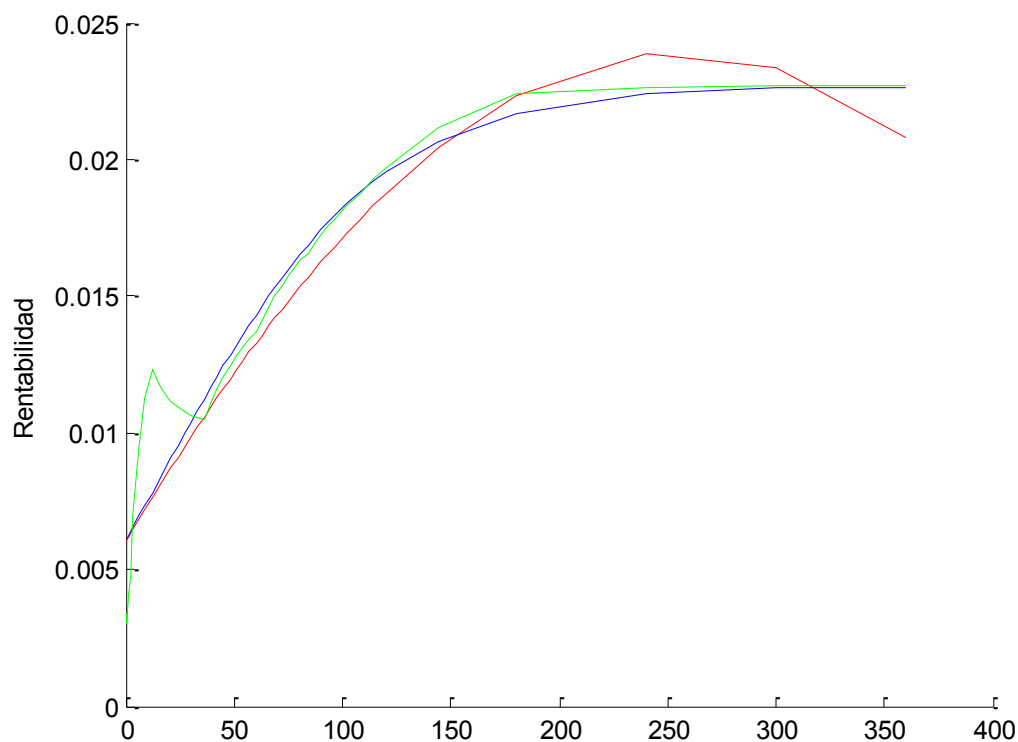


Ilustración 5: comparación métodos interpolación y aproximación (Fuente: propia)

2.2.1.2.2 Redes Neuronales Artificiales

Uno de los métodos de aproximación más efectivos en la actualidad son las Redes de Neuronas Artificiales. Múltiples estudios han demostrado su capacidad para **detectar patrones y predecir a través del aprendizaje** [39]. Aunque más adelante se explica su funcionamiento, simplemente destacar que el objetivo de las mismas es el de **emular el cerebro humano**. Mediante la unión de múltiples neuronas son capaces de realizar (al igual que el cerebro) gran cantidad de tareas de forma simultánea aportando una capacidad **computacionalmente muy valiosa**. Son capaces de aprender y, a partir de ejemplos, generalizar para casos nunca antes considerados.

Aplicando estos conceptos a la construcción de la curva, una RNA puede predecir cómo será la forma de la misma en función de los valores de entrada recibidos. Son capaces de aprender qué patrones se observan en la misma y, de este modo, **aproximar una función** que, aunque no recorra todos los puntos si sea lo más próxima a ellos. Con esto se consigue dibujar una curva más lisa, en comparación a los métodos de interpolación, y por tanto **más fiable**. La robustez computacional de estos artefactos permite que, tras un entrenamiento inicial, se consiga una curva con puntos que se aproximan en gran medida a la realidad.

En el apartado de resultados y discusiones de este proyecto se puede comprobar cuál ha sido su funcionamiento y cómo mejora los resultados obtenidos con la interpolación.

Además, se han utilizado dos arquitecturas diferentes de neuronas con el fin de determinar, también, cuál es la más adecuada para resolver esta problemática.

2.2.1.2.3 Otros métodos de aproximación

Además de los comentados, que han sido los implementados en este trabajo, existen otras técnicas ya probadas en otras investigaciones y que no son objeto de este trabajo [40].

Destacar, por un lado, que es muy recurrente hablar del modelo de **Nielson-Siegel** (que posteriormente mejoró **Svensson**) para calcular la ETTI. Se trata de un modelo paramétrico que construye la curva a partir de la **estimación de un conjunto de parámetros** que permiten replicar la forma de la CCC a partir de una muestra de rendimientos. Propone una función continua para describir la trayectoria que seguirán los tipos de interés, en función de un **conjunto de parámetros y distintos plazos**. En el caso del modelo de Nielson-Siegel son cuatro los parámetros utilizados mientras que el de Svensson aumenta los mismos a seis, otorgando mayor flexibilidad.

Por otro lado, mencionar también los **modelos polinómicos**, que dividen los datos de rendimiento en distintos segmentos. Cada uno de estos **ajusta a un polinomio para luego unirse de nuevo de forma suavizada**. Finalmente, se ajusta otro polinomio para cada tramo de la curva que unido al anterior forman la ETTI. En estos modelos destacan los denominados modelos “**splines cúbicos**” que utilizan polinomios de la forma $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$.

2.2.1.2.4 Decisiones de diseño

Comentar, finalmente, que aunque son muchos los métodos de aproximación existentes se ha optado en este trabajo por implementar solo los dos anteriores por diversas razones:

- Uno de los objetivos de este trabajo es el de **evaluar cómo la Inteligencia Artificial y las finanzas están fuertemente relacionadas**. Aplicando las RNA, y demostrando que su rendimiento es bueno en el cálculo de la ETTI (concepto utilizado de forma recurrente en el mundo financiero), es una buena forma de demostrar esta fuerte relación.
- Por otro lado, bien es cierto que es importante poder comprobar cómo de bueno es el resultado obtenido. Se ha podido comprobar que el **método más utilizado por las entidades es la interpolación exponencial**. De este modo, se ha considerado que fuera este con el que comprobar el rendimiento de las redes en este ámbito. Cualquier mejora, respecto a este método, ya sería relevante si se realiza, entre otros, en un banco como es el Santander (uno de los principales bancos europeos).
- Finalmente, argumentar que puesto que uno de los objetivos era el de comprobar **como las RNA funcionan en el área financiera** y, más concretamente, en la aproximación de funciones, se ha optado por probar **varías arquitecturas** de estas (para encontrar cuál es la más adecuada) en lugar de probar otros métodos diferentes.

Concluir, por tanto, que la decisión en cuanto a métodos de aproximación escogidos no ha estado basada tanto en componentes de rendimiento y mejora, sino más en términos de

probar nuevas técnicas, en nuevas áreas y compararlos con alguna técnica que ya supiera se estaba utilizando en la realidad (y de qué forma).

2.2.2 Usos ETTI

Puesto que la CCC permite **estimar el valor del dinero a lo largo del tiempo**, es mucha la utilidad que, generalmente entidades financieras, le dan a la misma. A continuación, se detallan alguna de las áreas en las que actualmente es utilizada la ETTI [41].

2.2.2.1 Valoración activos de Renta Fija.

Uno de las principales ventajas de la CCC es que permite **calcular el precio de cualquier activo de Renta Fija**. La metodología de valoración, no es única y existen múltiples alternativas que hacen que los resultados obtenidos puedan ser significativamente diferentes.

Por un lado, es importante determinar qué **métodos van a ser usados para la estimación** de la curva. Se trata de un tema ya tratado en puntos anteriores y es, por esta aplicación, por lo que su decisión tiene un impacto relevante. Si escogemos una mala estimación de la ETTI para valorar un activo de Renta Fija, los resultados nos pueden llevar a error, provocando decisiones equivocadas que afectan de forma directa a los resultados de la entidad (por ejemplo, comprar un bono determinado para un fondo de inversión propio).

Por otro lado, es importante determinar cuál va a ser el **diferencial (prima de riesgo) respecto a la CCC**, y que debe determinarse en función de las características de **solvencia** del activo de Renta Fija a valorar.

Si se trata de un activo de Renta Fija cotizado, podemos determinar este diferencial en función del observado históricamente. Por ejemplo, si sabemos que un bono de deuda privada lleva cotizando los últimos días, de media, a **5 p.b** de la CCC, y hoy no disponemos de su precio, podemos calcular el mismo sumando al nodo correspondiente de la ETTI ese **spread medio**. Si se trata de deuda pública, el proceso es más sencillo. Para cada país es conocida esta prima de riesgo (abordaremos esto en la siguiente sección del documento) en función de su **rating**, por lo que es sencillo estimar el precio de los mismos.

En el caso de activos de Renta Fija no cotizados y poco líquidos existen varias alternativas para determinar este diferencial.

Por un lado, podemos hacerlo a partir de las **TIR**, derivadas de información financiera fiable, de un bono similar al que deseamos valorar. Para ello, se debe escoger un bono que se ajuste el máximo posible al vencimiento y **duración** del activo así como calidad del emisor (y por tanto **riesgo de crédito**). La prima de este bono no cotizado se calculará, por tanto, a partir de la diferencia entre la rentabilidad del título tomado como referencia y la de la CCC.

Una segunda posibilidad, sería la de estimar, directamente, la prima de la emisión en cuestión, en función de los datos históricos. Este proceso es el mismo que el que se comentó para los casos de deuda cotizada. El método de estimación depende del gestor o entidad que desee valorar el bono: a través de una media simple/ponderada de los últimos días, meses o años o, una más compleja, aplicando métodos econométricos.

Por ejemplo, el mercado de Renta Fija **AIAF** utiliza esta última metodología para la obtención de **precios de referencia** diarios de los instrumentos de Renta Fija admitidos a negociación en ese mercado. Utiliza una **técnica econométrica** basada en un enfoque clásico de series temporales, utilizando un modelo de medias móviles y ponderando cada observación por el volumen de negociación.

En este proyecto se propone una nueva forma de valorar los bonos. Se trata de utilizar Redes Neuronales Artificiales para determinar esta prima de riesgo, no solo para el día actual sino también la del futuro. Esto permite adelantarse al resto de entidades, no solo mejorando el presente, sino avanzando un paso más allá. Por un lado, va a permitir mejorar el proceso de estimación de ese diferencial. Por ejemplo, para bonos no cotizados o de los que no se dispone precio podemos determinar la prima actual, y por tanto su precio, a partir de la serie histórica que se ha ido observando (y entrenando a la red para que pueda predecirlo). Por otro lado, para bonos cotizados donde es sencillo calcular el valor actual (la prima es conocida) adelantarse estimando la futura y, por tanto, pudiendo tomar decisiones antes de que sean observables en el mercado (y por tanto conocidas para el resto).

2.2.2.2 Valoración de empresas

Siguiendo en la misma línea, la ETTI también **permite valorar las empresas en función del valor presente de sus flujos futuros**.

A través de la curva, y como ya hemos comentado, se puede calcular la tasa de rentabilidad de un bono y, por tanto, cuál es esa prima que se debe pagar por tratarse de un bono de más o menos riesgo (una prima más alta implica mayor riesgo por parte de la entidad emisora).

De este modo, una vez calculada esta rentabilidad podemos hacer el proceso inverso, calcular **el factor de descuento** a partir de esa TIR y descontar los flujos futuros del emisor multiplicando por este. De este modo, podemos obtener el valor actual de los mismos que nos permitirá valorar la entidad.

$$VA = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t}$$

Ecuación 9: valor actual de flujos futuros

Se puede observar cómo, a medida que la prima de riesgo aumenta y por tanto la TIR, el valor actual es inferior y, por tanto, la valoración de la empresa peor. Si traducimos el resultado a lenguaje financiero, esto implica que una empresa será peor valorada cuanto más riesgo de crédito genere y, por tanto, más rentabilidad deba ofrecer por adquirir su deuda.

2.2.2.3 Nuevas emisiones

Similar a lo que ocurre con los activos que no cotizan en el mercado, de los que no es posible conocer, a priori, su precio, ocurre con las nuevas emisiones. Es imprescindible establecer un **precio de referencia que permita saber si su precio de emisión es adecuado** o no.

Para ello, y puesto que en las nuevas emisiones no existen datos históricos sobre su precio, se puede establecer uno de referencia a partir de otros bonos similares (y en consecuencia su prima de riesgo). A partir esto, y del riesgo derivado del cálculo, se puede determinar cuál

debe ser su precio de emisión aproximado y, por tanto, determinar si es una buena opción de inversión o no.

2.2.2.4 Cálculo de riesgos de tipo de interés

Esta aplicación es sencilla de deducir. Puesto que la ETTI permite establecer los tipos de interés a largo plazo, podemos conocer si en el presente existe el **riesgo de que los tipos vayan a caer** en el futuro (y por tanto ocasionar pérdidas). Si esto es así, por ejemplo, no contrataremos un futuro sobre tipos de interés (por ejemplo, en el caso de la CCC para el Euro, sobre el Euribor) si no es con uno menor al actual, ya que deberemos cubrirnos frente a ese riesgo.

La interpretación de la ETTI, por tanto, también adquiere relevancia en el caso de las entidades de inversión. Deben tenerla en cuenta en el caso de compra o ventas de activos que impliquen pagos en el futuro, cubriéndose siempre del **riesgo de interés** observado a través **primas de emisión**.

Estas variaciones no son algo que pueda asegurarse con certeza ya que la CCC va cambiando cada día pudiendo variar su forma y, por tanto, las conclusiones extraídas de la misma. Sin embargo, permite hacer una aproximación sobre cuáles son las expectativas del mercado para así tomar decisiones adecuadas en función de los riesgos potenciales.

2.2.3 Teorías de implicaciones de la ETTI

Una de las cuestiones fundamentales en el desarrollo de la CCC es la de saber por qué presenta una determinada forma y qué **conclusión puede derivarse de ella**.

No existe evidencia empírica sobre cuál es la teoría más adecuada para explicar su comportamiento [42]. Cada una de ellas, sirve para explicar la evolución de la curva en un momento determinado por lo que su correcto entendimiento viene dado por el conocimiento de cada una de las teorías más relevantes.

Además, puesto que en muchos casos se trabaja con ETTIs estimadas, la evidencia empírica que estas teorías aportan no es en muchos casos concluyente. Son usadas, principalmente, en literatura financiera donde también es muy usual trabajar con ETTIs planas (que normalmente no se observan en la realidad).

Mencionar que todas estas teorías se basan en **dos conceptos financieros**:

- El **arbitraje y el comportamiento racional** de los inversores.
- El **riesgo de interés** asociado a cualquier título de Renta Fija.

2.2.3.1 Teoría pura de las expectativas

Se basa en la idea de que los **tipos spot** a distintos plazos (y por tanto nodos de la CCC) vienen **determinados por las expectativas que los inversores** tienen en el mercado, y en particular, de los tipos al contado que se esperan en el futuro.

Es evidente que los tipos futuros no se pueden predecir con certeza. Puesto que las magnitudes inciertas han sido consideradas tradicionalmente como variables aleatorias (que no se pueden determinar ni predecir), esta teoría interpreta el tipo de interés forward como un estimador **insesgado** de la esperanza de los tipos futuros al contado.

$$F_{t,t+1} = E_0[R_{t,1}]$$

Ecuación 10: esperanza tipos futuros (Tª Expectativas)

Así, de esta teoría se deduce lo siguiente:

- Si la ETTI es creciente, los inversores esperan que se produzca una subida de los tipos de interés a corto plazo.
- Si la ETTI es decreciente, los inversores esperan que se produzca una bajada de los tipos de interés a corto plazo.
- Si la ETTI es plana, es que el mercado espera que los tipos se mantengan en los actuales.

Esta teoría asume que los inversores son arriesgados por defecto y que **no se ven influenciados por la percepción de riesgo** que puedan tener.

De este modo, el argumento principal que fundamenta esta teoría se derivaría del hecho de que si los tipos forward difieren de los esperados, se generarían oportunidades de especulación (hasta que esa diferencia desapareciera) que podrían ser explotadas por inversores neutrales al riesgo. Es importante mencionar que, se trata de una teoría que requiere un mercado de Renta Fija muy eficiente.

Como críticas o ampliaciones de esta teoría surgen el resto, los cuales ya tienen en cuenta la posible aversión al riesgo que puedan tener los agentes económicos que intervienen en el mercado.

2.2.3.2 Teoría de las preferencias por liquidez

Replanteamiento de la hipótesis de las expectativas que plantea los siguientes aspectos:

- Los inversores van a considerar los activos de **Renta Fija a largo plazo más arriesgados**. Al tener vencimientos mayores, sus fluctuaciones cuando el tipo de interés cambie serán mayores (más flujos de caja se verán afectados).
- Los emisores, sin embargo, van a preferir emitir deuda a mayor plazo ya que esto les va a permitir reducir riesgos y costes en la refinanciación de su deuda.

Estas dos vertientes se traducen en que **los inversores exigirán una prima por invertir** en activos a largo plazo y los emisores, estarán dispuestos a pagarla para conseguirlo. Esta prima influirá a las expectativas sobre los tipos de interés de tal forma que los tipos forward serán estimadores **sesgados** (siendo este sesgo la cuantía de la prima de riesgo).

$$F_{t,t+1} = E_0[R_{t,1}] + Prima$$

Ecuación 11: esperanza tipos futuros (Tª Preferencias)

Es importante mencionar que a medida que el plazo de vencimiento del activo sea mayor, también lo será la prima. Esto provocará una tendencia creciente en la ETTI (a mayor plazo más valor el tipo futuro), lo que justificaría que, en la actualidad la tendencia observada en la **CCC sea de pendiente positiva**. Por ejemplo, una perspectiva bajista representaría una ETTI plana sobre el comportamiento futuro.

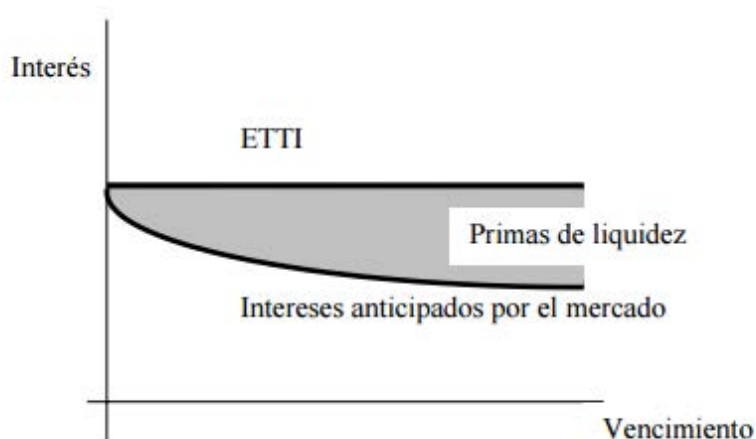


Ilustración 6: ETTI plana según teoría de la liquidez

2.2.3.3 Teoría de la segmentación de mercados

Las dos teorías anteriores se basan en la idea de que los inversores y emisores pueden comprar y vender títulos a corto y largo plazo en función de las expectativas del mercado. Esto quiere decir, que asumen que los agentes financieros pueden operar sin restricciones en función de las expectativas en cuanto al comportamiento del tipo de interés.

La **teoría de la segmentación de mercados** supone que los agentes del mercado son extremadamente adversos al riesgo. Debido a esto, y para no incurrir en el riesgo de precio y reinversión de los inversores y en el de refinanciación de los emisores, **ajustan perfectamente su inversión o demanda de títulos a su horizonte planificador**. Además, también considera que no solo la aversión al riesgo limita la movilidad entre segmentos del mercado, sino que también existen otras restricciones: legales, alto coste de la información por segmento, etc.

Se puede decir, por tanto, que según esta teoría no existe un solo mercado de Renta Fija. En función del vencimiento de títulos que se negocien se establece un segmento (que formará un mercado independiente). Cada uno de estos, determina unos tipos de interés independientes del resto y de las expectativas de los tipos futuros de los inversores. Debido a esto, el análisis que se haga de la ETTI no es relevante ya que no refleja las expectativas del mercado. **Los tipos forward no son indicativos de ningún tipo de perspectiva, sino un mero artificio aritmético sin ningún sentido económico.**

Suponiendo un mercado con solo dos segmentos (uno para deuda a corto y otro para largo plazo) tendríamos lo siguiente:

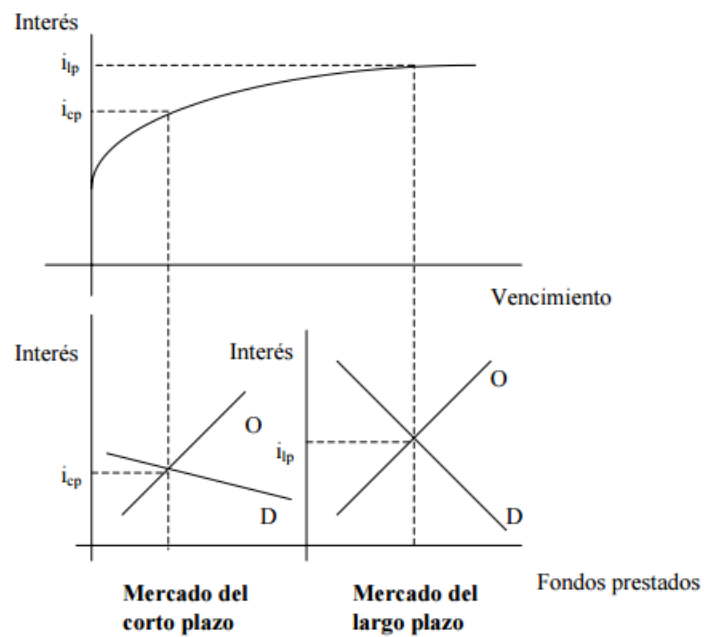


Ilustración 7: teoría segmentación de mercados

2.2.3.4 Teoría del hábitat preferido

Nueva versión de la teoría de segmentación que se basa en la hipótesis de que los agentes **igualan el vencimiento de sus activos y pasivos para evitar riesgos**. Sin embargo, introduce como excepción el caso en el que el mercado ofrezca una rentabilidad suficiente a otros plazos. En ese caso, los agentes ajustarán sus posiciones, invirtiendo en otros segmentos que le ayuden a aprovechar esa ventaja.

Esto implica que la **prima de riesgo** ya no va a venir determinada por el plazo (a mayor plazo mayor prima) sino del **equilibrio entre oferta y demanda de títulos** a un plazo determinado. En consecuencia, si por ejemplo hubiese exceso de títulos a corto plazo (oferta) debería ofrecerse mayor rentabilidad (prima) para aumentar la demanda.

2.3 Prima de riesgo:

Se trata de la **diferencia existente entre el tipo de interés de un activo sin riesgo y otro que sí lo tiene**. Se traduce en la cantidad que debe pagar de más el segundo por emitir deuda con peores condiciones. En la **Eurozona** se traduce como la diferencia de intereses que un bono a 10 años paga respecto al mismo tipo de **título alemán**. Se compara con este al ser considerado un valor refugio en la economía, el más seguro y que ofrece el mínimo riesgo de entre todos los países de la zona. Se calcula de forma diaria, e incluso en ocasiones (antes del 2008) llegó a ser negativa en España, es decir, los bonos alemanes debían pagar más que los españoles al ser consideramos menos estables [43].

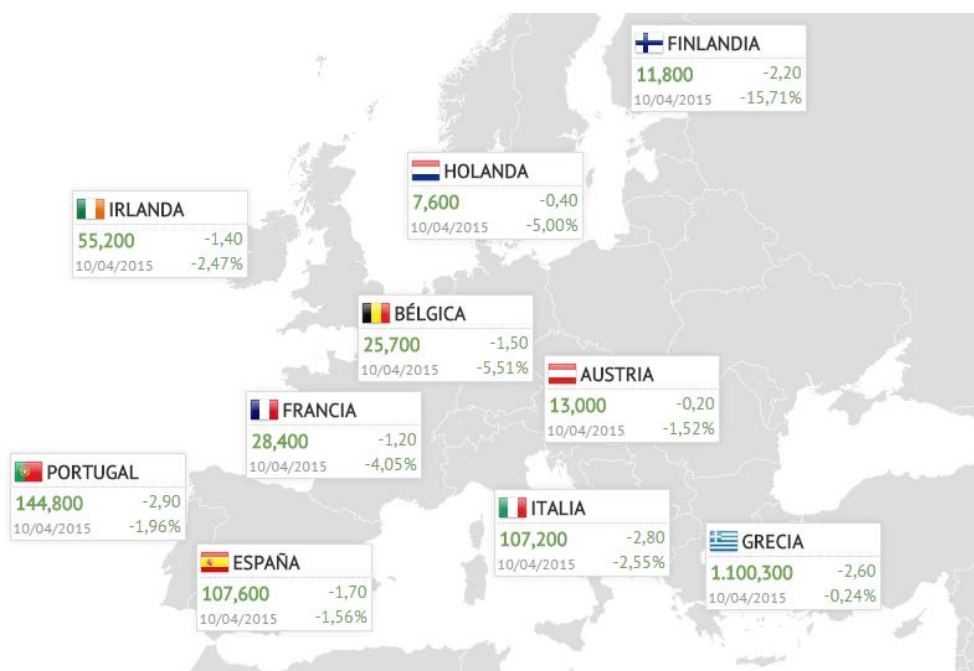


Ilustración 8: prima de riesgo Eurozona 10/04/2015 (Fuente: Rankia)

La prima de riesgo es considerada un **barómetro de la solvencia de un país** y, en consecuencia, de la fiabilidad que inspira entres los inversores como futuro pagador. Un bono del estado con mayor prima de riesgo, deberá ofrecer más rentabilidad y por tanto será más caro para el gobierno su emisión (es decir, afecta de forma directa a su financiación).

Además, el coste de los bonos del estado sirve de referencia para fijar los intereses que las empresas privadas pagan por financiarse. En consecuencia, cada vez que baja la prima de riesgo, no solo se paga menos el estado por emitir deuda, sino también las empresas privadas que ven suavizada su financiación, especialmente cuando lo hacen a través de deuda.

Las variaciones de la prima reflejan no solo los cambios en la **situación financiera de la entidad** emisora, sino también los cambios en **las condiciones del mercado y la situación económica** en general. De este modo, las altas cifras en la prima de riesgo española registradas en 2012 se vieron influenciadas por varios motivos: por un lado la inestabilidad del propio estado y por

otro la situación generalizada de la zona Euro que sembró los mercados de gran incertidumbre.

Actualmente, con el panorama financiero en aparente calma y recuperación, y tras el **plan de estímulo del BCE** que ha inyectado una gran liquidez a los mercados de la Eurozona [44], se puede comprobar cómo esta ha disminuido de forma drástica en todos los países Euro. En España se encuentra ya estabilizada en torno a los 110 p.b. Incluso, la rentabilidad de los bonos estadounidenses ha superado a los portugueses, haciendo dudar de la fiabilidad de este indicador de riesgo tras las últimas medidas tomadas en la Eurozona (compra de bonos aumentando la demanda). No es lógico que en los últimos meses se haya llegado a pedir más intereses a la primera economía del mundo, con una tasa de paro inferior al 6%, que a un país de la zona Euro que tuvo que ser rescatado y tiene más del doble de desempleo.

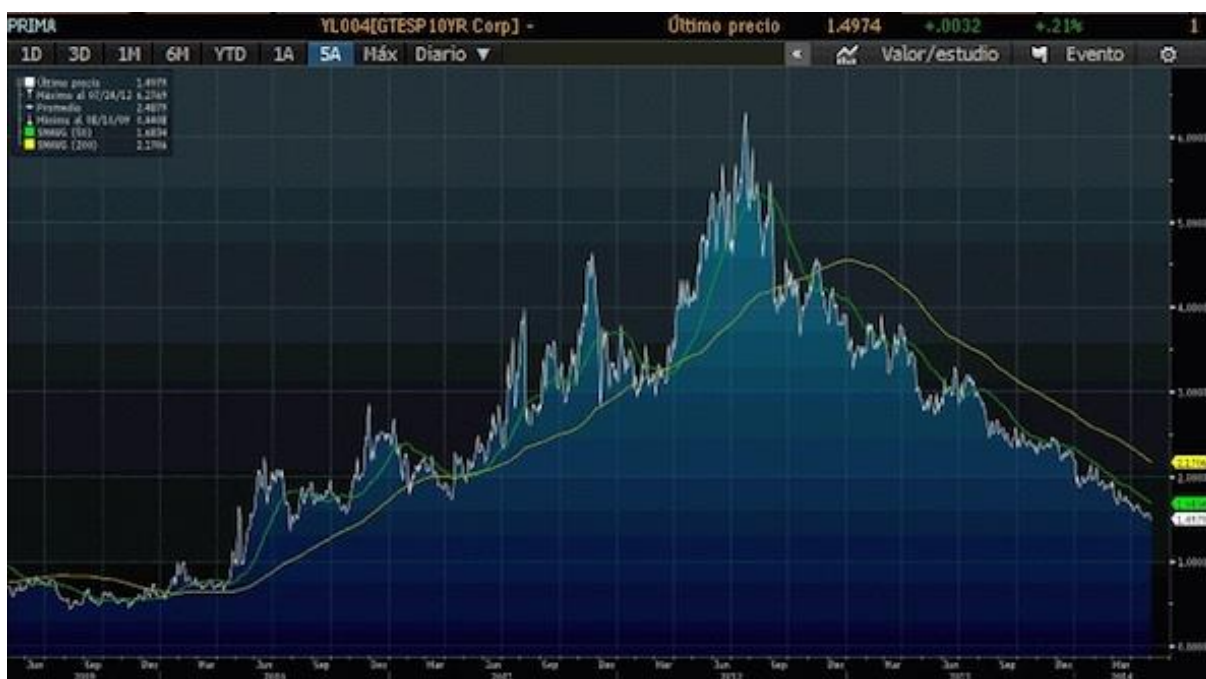


Ilustración 9: variación prima de riesgo en España (Fuente: Bloomberg®)

2.3.1.1 La prima de riesgo y su relación con la CCC.

La definición de prima de riesgo también puede traducirse a la ETTI. Puesto que no es más que un **diferencial entre la rentabilidad que ofrecen unos títulos respecto a otros**, puede aplicarse también a los tipos de interés cupón cero. Por ejemplo, si construimos la CCC para el Euro, podemos denominar prima de riesgo a la **diferencia entre los tipos de interés interbancarios de esta y los tipos de interés de otros activos de Renta Fija** (ya sean bonos del estado o privados). Esta diferencia o **spread** determinará (al igual que en el caso de la prima de riesgo de los países) cuánto más debe pagar un emisor (comparándolo con los tipos de mercado que se extraen de la curva) por hacer que el inversor asume mayor riesgo.

A partir de esta diferencia, y como se explica en el punto 2.2.2.1 se puede, entre otros determinar el precio de un bono.



En este proyecto se intenta predecir cuáles serán esas primas de riesgo futuras para un bono ejemplo que cotiza en el mercado. Es decir, a partir de las diferencias observadas a lo largo del tiempo entre las CCC diarias y las rentabilidades del bono (que también se conocen) se calcula cuál será esa diferencia al día siguiente. Si se estima que va a ser mayor, el bono va a tener más riesgo en el futuro y, por tanto, su precio caerá (es un buen momento para vender el bono). Si por el contrario se estima que la prima de riesgo del título ejemplo va a disminuir, el bono tendrá menos riesgo, será más valorado en el mercado y, su precio deberá subir (es una ocasión perfecta para comprarlo a un precio menor del que se estima tendrá en el futuro).

Por tanto, y de este análisis se extrae cómo a través de este proyecto se pretende introducir el concepto de **arbitraje** en el mercado de Renta Fija, que ya se comentó en la introducción. Se predice su comportamiento futuro y, a partir de esos resultados, se compran o venden títulos con el único fin **especulativo**, es decir, de generar beneficios sin esperar a su vencimiento.

2.4 Inteligencia Artificial aplicada a las finanzas

Actualmente, son muchas las empresas que han incorporado a sus sistemas de gestión empresarial técnicas que aborda la **Inteligencia Artificial** (a continuación IA), no solo para el tratamiento masivo de información, sino también como **herramientas para la toma de decisiones adecuadas y rentables**.

En los últimos años, la gestión empresarial ha sufrido grandes cambios impulsados, principalmente por el avance de las tecnologías. Ya no es posible imaginar una empresa donde, en mayor o menor escala, no se use la tecnología. Estos cambios se acentúan si nos centramos en el mundo del tratamiento de la información o “**Gestión del conocimiento**”. Este nuevo paradigma, impulsado por el notable aumento de datos con los que las grandes empresas tienen que tratar día a día, ha revolucionado, sin duda, el mundo de los negocios.

Si nos basamos en el ámbito de las decisiones empresariales, especialmente en las finanzas, nos situamos en un **contexto de continuo cambio**, marcado por la incertidumbre, donde la competitividad y la distinción se hacen imprescindibles para la continuidad del negocio. Así se puede observar, dentro de este campo, una evolución hacia un concepto de “finanzas moderna” donde **se busca explicar fenómenos financieros** que afecten en la toma de decisiones. Se introduce el **concepto de “finanzas cuantitativas”** que utilizan un lenguaje científico, un razonamiento adecuado y verificaciones empíricas.

Dentro de la IA, destacan las **técnicas de aprendizaje** y de **gestión del conocimiento** como las aplicadas, en mayor medida, al área de gestión financiera [45]. El afán por construir sistemas de información que incorporen conocimiento y que permitan tomar decisiones adecuadas son los motivos principales que han llevado al uso de estos paradigmas [46].

A continuación, se describen alguna de estas técnicas, así como sus aplicaciones.

2.4.1 Sistemas Expertos

Se tratan de sistemas que buscan **simular el conocimiento de humanos expertos en un área determinada**. Son capaces de procesar y memorizar información, aprender y razonar en situaciones de incertidumbre, comunicarse con humanos y/o otros sistemas expertos, tomar decisiones y razonar el porqué de las mismas. Podría decirse que son una ayuda para humanos especializados que aportan información de gran credibilidad. Los **sistemas expertos basados en reglas** son los más comúnmente utilizados en el ámbito financiero.

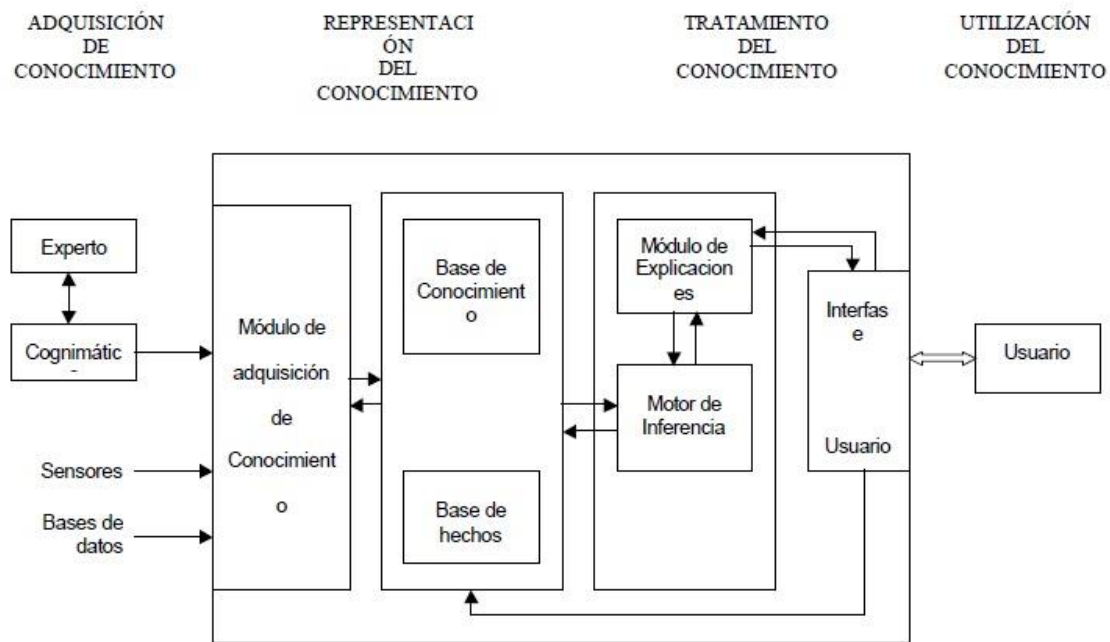


Ilustración 10: Arquitectura sistema experto

Alguna de las características de estos sistemas que permiten ofrecer asesoramiento inteligente así como tomar decisiones razonadas son:

- Pueden ofrecer **soluciones a problemas complejos**, incluso mejor que un ser humano.
- Usan **razonamiento heurístico**, mediante reglas empíricas efectivas y son capaces de comunicarse con los humanos haciendo uso del lenguaje natural.
- **Pueden razonar** incluso con algunos datos erróneos ya que son capaces de establecer un juicio mediante el uso de reglas inciertas.
- Son capaces de **comparar múltiples hipótesis** de forma simultánea.
- Pueden **explicar el por qué** están formulando una pregunta determinada.
- Son capaces de explicar el **proceso de razonamiento** y el porqué de una decisión.

En el ámbito financiero, son usados como sistemas inteligentes diseñados para servir de apoyo en el **análisis de tendencias de mercado**, que permiten tomar **decisiones rentables y eficientes** [47][48][49]. Para una compañía, adquirir mayor conocimiento frente a sus principales competidores, se convierte en una ventaja competitiva preparada para afrontar los nuevos retos del mundo empresarial. Algunas de las aplicaciones de estos sistemas son:

- Análisis de inversiones
- Concesión de créditos
- Análisis de estados financieros
- Interpretación de índices
- Análisis de riesgos
- Opinión de un auditor
- Cálculo y asignación de costes

2.4.2 Redes Neuronales Artificiales

Las Redes Neuronales Artificiales (a continuación RNA) son consideradas como una **técnica de procesamiento masivo de la información que simula las características esenciales de la estructura neuronal del cerebro humano**. Consiste en una serie de unidades de proceso (neuronas) relacionadas mediante unas conexiones ponderadas por pesos. Cada neurona recibe señales a través de unas vías de entrada y responde enviando otra señal a todas aquellas con las que tenga conexión de salida.

Cada neurona artificial puede entenderse como la **composición de dos funciones matemáticas**: una **función de estado** en línea con las variables de entrada que han sido ponderadas mediante unos pesos dados durante la fase de aprendizaje, y una **función de transferencia**, que da como resultado la respuesta de la neurona frente al estímulo recibido.

Estas unidades de proceso, además, **se distribuyen en forma de capas**, según sean donde se ingresan los datos (capa de entrada), por donde se obtienen resultados (capa de salida) o zonas intermedias (capas ocultas). De este modo, la red podrá variar en función del número de neuronas que la formen, número de capas que hacen que la entrada y la salida estén más o menos alejadas, y el grado de conectividad (cómo se conectan las neurona entre sí). Estas variaciones influirán en los resultados de la misma pudiendo comprobar, en cada caso, cuáles son más acordes a la realidad y, por tanto, cuál es la RNA óptima para el problema planteado.

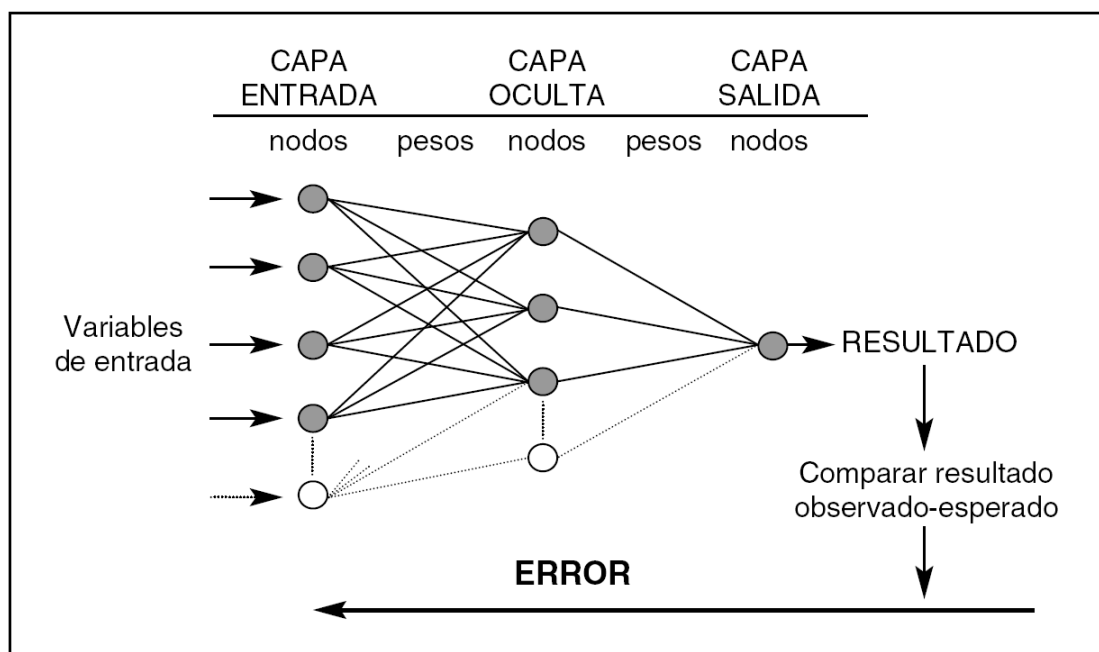


Ilustración 11: arquitectura RNA

Existen múltiples arquitecturas de redes (por capas, conectadas lateralmente, con aprendizaje supervisado, no supervisado, etc.). En este proyecto, se utilizarán Redes Neuronales por capas, donde cada una de estas recibe señales de las capas previas. Además, en el caso de las Redes Neuronales de Base Radial (se explicarán más adelante) se caracterizan por tener un aprendizaje híbrido que involucran aprendizaje supervisado (proceso de ajuste de pesos) y no supervisado (resto de aprendizaje).

Si nos centramos en el **campo de la gestión financiera**, podemos destacar las siguientes áreas de interés:

2.4.2.1 Optimización

En los problemas de optimización se busca la **mejor solución a un problema previamente definido**. Para ello, las RNA tratan de resolver una función objetivo sujeta a determinadas restricciones. Entre estas aplicaciones podemos destacar:

- Búsqueda de niveles de tesorería óptimos en las empresas: qué niveles deben mantener las empresas (más allá de los requerimientos legislativos) y qué cantidad debe usarse para invertir.
- Niveles óptimos de carteras [50], producción, inventarios ...

2.4.2.2 Reconocimiento

El objetivo es **entrenar a la RNA mediante una serie de entradas** (letras, sonidos, números) de modo que esta **aprenda a reconocerlos en momentos de incertidumbre**. Para ello, se entrena a la misma presentando estos patrones en condiciones de ruido (por ejemplo, todas las formas que puede presentar una “a”) , de modo que aprenda las máximas casuísticas posibles. Su objetivo es poder asignar a cada caso su clase correspondiente partiendo de una serie de ejemplos. Las RNA se enseñan de modo que sean capaces de detectar un conjunto de patrones de entrada con las que **clasificar la situación en una de las categorías determinadas**. Entre los distintos usos en la gestión financiera:

- Reconocimiento óptico de caracteres escritos en los documentos de empresas [51].
- Reconocimiento de firmas [52]
- Predicciones de fracasos financieros [53]: parten de una serie de rasgos que mediante modelos matemáticos permiten clasificar las empresas con éxito de aquellas que fracasan

2.4.2.3 Predicción

Pretenden obtener información desconocida a partir de datos históricos. En el mundo financiero estos problemas están asociados a la **predicción de variables económicas** tales como tipo de interés, tipos de cambio [54], **índices** [55] o predicción del comportamiento de las acciones. Adicionalmente, también se han encontrado estudios sobre el uso de RNA en los estudios sobre **volatilidad** [56][57], número de franquicias que una empresa debe explotar...

2.4.3 Algoritmos genéticos

Nacen como resultado de los avances en la **computación evolutiva**, y son uno de los paradigmas que mayor auge están experimentando en el área de la Inteligencia Artificial. Su objetivo es el de emular la mecánica de **selección natural** y de la genética utilizando datos históricos que permiten encontrar nuevos puntos de búsqueda de una solución óptima. Esta se consigue mediante cálculos complejos que requieren de métodos computacionales que los aceleren y, que permiten encontrar soluciones a problemas que de forma precisa sería imposible.

Basados en la **teoría evolutiva de Darwin**, buscan la solución a un problema a través de la **evolución de poblaciones de soluciones** codificadas a través de cromosomas artificiales.

Su funcionamiento se describe en el siguiente diagrama:

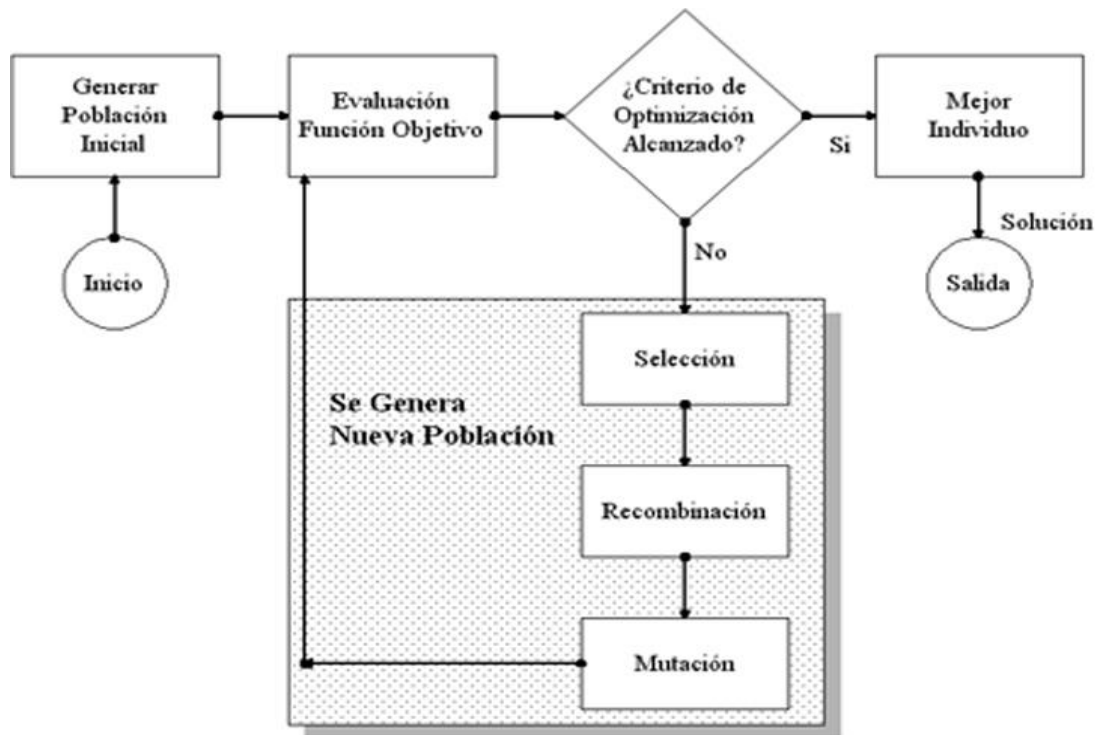


Ilustración 12: diagrama de flujo algoritmos genéticos

Generalmente, los algoritmos genéticos suelen usarse en la investigación de operaciones que consigan resolver problemas de optimización numérica y combinatoria complejos. Suelen **combinarse con las Redes Neuronales** lo que permiten diseñar **estructuras híbridas** para la búsqueda de soluciones óptimas. El objetivo último de estas, es el reducir la complejidad computacional y el tiempo requerido en el diseño de Redes Neuronales.

En el cálculo de la Curva Cupón Cero, las metodologías basadas en Svensson y Nielson-Siegel pueden implementarse mediante el uso de estos algoritmos. Además, dentro de este ámbito de gestión financiera podemos destacar los siguientes usos:

- Predicción de la bancarrota de una compañía [58] [59].
- Evaluación y predicción de la **capacidad financiera** de una empresa para absorber un préstamo, así como determinación de la cuantía.
- En general, inferencia de reglas que permitan tomar las mejores decisiones sobre asignación de recursos teniendo en cuenta información histórica.

2.4.4 Lógica difusa

Basada en lo relativo de lo observado como posición diferencial, permite manejar información vaga o de difícil especificación pero importante para solucionar un problema. Parte de una serie de reglas de “sentido común” creadas a partir de sistemas adaptativos que permiten aprender mediante la observación de las personas o especificaciones de un ser

humano especializado. Permite simular el modo de razonamiento humano donde no todo está cuantificado de forma clara (por ejemplo, si decimos que un chico es alto, ¿en función de qué?, y si lo comparamos con un olivo, ¿lo sigue siendo?).

Su funcionamiento está basado en la **flexibilidad, la tolerancia a la imprecisión**, capacidad de modelar problemas no lineales y su fundamento en el **lenguaje del sentido común**. Para ello, considera que la certeza de una proposición es una cuestión de grado y apoya firmemente el concepto de razonamiento aproximado.

La construcción de artefactos electrónicos de uso doméstico, el diseño de sistemas de diagnóstico o de control de complejos procesos industriales son algunos de los usos que se le da en la actualidad.

En el campo financiero, la lógica difusa junto con los conceptos de conocimientos borrosos [60], son los más ampliamente utilizados (los denominados conjuntos borrosos). Destacan las áreas de toma de decisiones, donde se manejan estimaciones subjetivas basadas en información disponible y su propia experiencia. Entre ellas:

- Seguros de vidas [61]
- Selección de carteras [62]
- Inventarios [63]
- En general, modelos de decisión utilizados juntos con criterios de optimización

Actualmente, existe una tendencia en el área de predicción financiera que busca usar técnicas de Inteligencia Artificial que usan sistemas híbridos que integren las habilidades de Redes Neuronales junto con el razonamiento basado en lógica difusa y algoritmos genéticos. La creación de estos modelos son los que van a permitir resolver problemas complejos y de difícil solución mediante el uso de técnicas convencionales.

2.4.5 Teoría de los conjuntos aproximados

Técnica de cuantificación y mapeo que **permite tratar la incertidumbre asociada a un proceso de toma de decisión**. Considerada de reciente aparición, si la comparamos con las anteriores, está basada en la **equivalencia de relaciones y particiones de conjuntos finitos**. Se apoya en la suposición de que cada objeto del universo que se considera de estudio se le puede asociar alguna información (datos, conocimientos propios, de terceros, etc.). Puesto que esta información es imprecisa, no permite la categorización de los objetos que comparte los mismos atributos (relación de no-diferenciación).

Asume la representación de los objetos y de la información sobre los mismos en forma de una tabla de información donde las filas representan cada uno de los objetos (acciones, empresas, alternativas...) y las columnas sus atributos. Cada par (objeto, atributo) se conoce como descriptor y representa información relativa a un objeto determinado.

De este modo, esta teoría ofrece la ventaja frente al resto de que no requiere un periodo de aprendizaje o dominio de un experto para su funcionamiento. Se pueden usar algoritmos ya conocidos y las reglas que se generan se traducen en lógica proposicional que pueden ser evaluadas por un experto.



Si extrapolamos el uso de estas teorías al mundo empresarial destacamos:

- Predicción el mercado accionario [64]
- Predicción del fracaso empresarial [65]
- **Database marketing [66]** : búsqueda de patrones en el consumo de los clientes

Si analizamos estas aplicaciones, se puede observar que todas buscan predecir el estado futuro mediante la identificación de patrones en el universo (a través de datos históricos). Para ello, y haciendo uso de estas técnicas, se insertan datos históricos a través de una tabla multi-atributos que relaciona objetos con información.

2.5 MATLAB: aplicación en finanzas cuantitativas

MATLAB es un **potente lenguaje de programación** que permite, de forma rápida, realizar cálculos numéricos de alto rendimiento, que facilita el análisis de datos y su visualización. Supuso una nueva era en la Computación Científica y también en la enseñanza de todo lo relacionado con ella. Usando un simple ordenador, permite obtener soluciones que con otras herramientas (que requieren de hardware más complejo) parecen impensables.

MATLAB es ya una realidad en áreas de tesorería, riesgos y análisis de muchas entidades financieras, de inversión y de seguros, debido a su facilidad de uso y potencia de cálculo [67]. Tiene ya implementado una serie de **paquetes financieros** capaces de realizar operaciones de esta área de forma directa (facilitando todavía más la labor al programador).

Entre los productos ofrecidos destacar el complemento **Financial Toolbox** [68] que permite el análisis de datos así como el desarrollo de modelos financieros. Entre sus funciones destacar:

- Optimización de carteras orientada a objetos basada en **CVaR** y media-varianza
- Análisis de flujos de caja, análisis de riesgos, modelado de series temporales financieras, matemática de fechas y matemática de calendarios
- Análisis de activos de Renta Fija conforme al **estandar SIA**.
- Valoración de opciones
- Regresión y estimación con datos incompletos
- Estimación, simulación y previsión de **GARCH** con modelo básico
- Indicadores técnicos y gráficos financieros

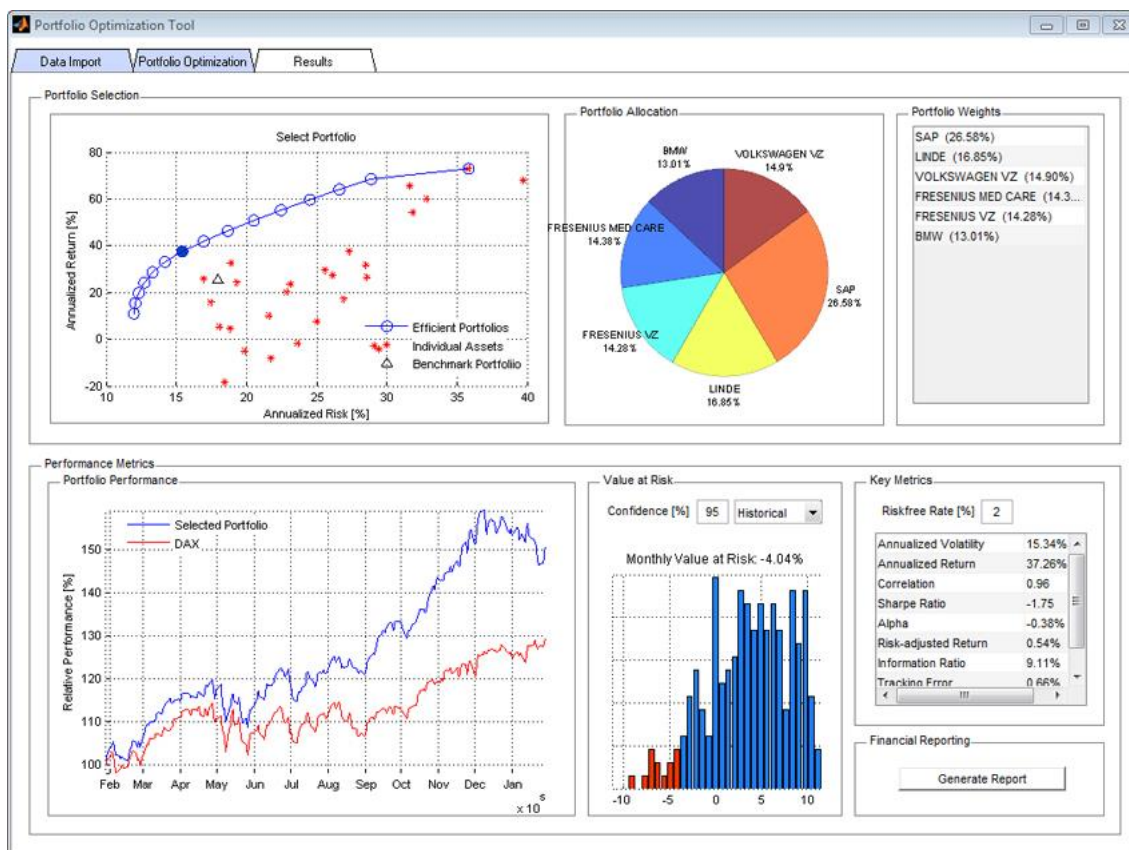


Ilustración 13: ejemplo uso herramienta optimización de carteras

Entre los motivos que han llevado a su uso en este proyecto, podemos mencionar:

- Utiliza un **lenguaje de alto nivel** que facilita su generación, comprensión y mantenimiento.
- Es evidente que para la manipulación estadística de datos, otras herramientas o paquetes informáticos son muy competitivos, por ejemplo **SPSS**. Sin embargo, la **polivalencia y versatilidad** que muestra MATLAB lo hacen más aconsejable para formación y estudio.
- Se puede **integrar fácilmente con otros software financieros**, algunos de uso extendido como Excel o Bloomberg® y otros más particulares como, por ejemplo, los sistemas globales de gestión de tesorería del Banco Santander (MUREX).
- Está basado en **un entorno computacional interactivo orientado a matrices** lo que permite distinguirlo de otros lenguajes como Fortran o C++ por su alto nivel de ejecución (incluyendo cientos de operaciones con un solo comando).
- En relación a lo anterior, **evita el uso continuo de bucles** necesarios en otros lenguajes al tratar con grandes bloques de información. Dado que permite tratarlos como una unidad única y operar sobre los mismos con una sola instrucción reduce el tiempo de cómputo mejorando el rendimiento.
- Dispone de un **conjunto muy amplio de comandos aplicados a las Matemáticas financieras** (agrupados, principalmente en *Statistics Toolbox* y *Financial Toolbox*) que permiten realizar muchas de las operaciones estadísticas y financieras habituales con gran eficacia y rapidez.
- Se trata del **software por excelencia aplicado a las finanzas cuantitativas**, y es el utilizado en los principales masters dedicados a estas, así como áreas de negocio de las principales entidades financieras (en especial en el área de riesgos debido a la complejidad de cálculos que han de realizarse).
- Posee, además **productos especializados en Inteligencia Artificial**, como Redes Neuronales Artificiales, lo que han favorecido, en este proyecto, la integración de estas dos áreas a través de una única herramienta.
- Se trata de un software que, a priori, puede parecer complejo pero que **facilita mucho la labor, sobre todo en el tratamiento de datos** de forma masiva.

2.6 Métodos de aproximación

Cuando la información es incompleta e impide realizar representaciones reales, es necesario acudir a aproximaciones que nos aporten soluciones. Estas, ofrecen resultados relativamente exactos a problemas muy complejos y costosos que impiden resolverlos de forma analítica y usando herramientas convencionales.

En el caso de la Curvas Cupón Cero, el problema radica en la **imposibilidad de obtener puntos para todos y cada uno de los plazos que se desean representar**. Se trata de un problema de gran dificultad y que, según las condiciones actuales del mercado no puede ser resuelto. Esto impide su representación de forma exacta y, por tanto, es **necesario acudir a métodos de aproximación** que nos den una solución que represente, lo más fielmente, la realidad.

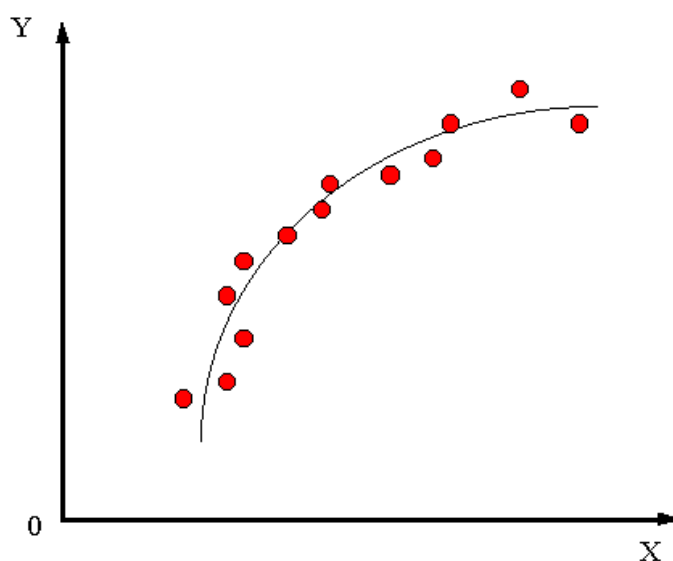


Ilustración 14: ajuste de curva a partir de datos de entrada

En este documento, es esta problemática la que nos ocupa. Se encuadra dentro de los métodos de aproximación para el ajuste de curvas [69] y, por tanto, son los que a continuación se detallan.

2.6.1 Métodos de aproximación para el ajuste de curvas

El ajuste de curvas consiste en la aproximación de funciones a partir de datos discretos, encontrando valores entre cada uno de estos que permitan la representación de la misma.

Cuando los datos de entrada son suficientemente precisos se puede usar la interpolación, que estima una función que pase, exactamente, por todos y cada uno de los puntos iniciales. Es el caso de la **interpolación lineal o exponencial** que se explicó como método para el cálculo de la Curva Cupón Cero.

Otro ejemplo de estos métodos, sería la **interpolación polinomial**, que obtiene un único polinomio que pase por todos los pares (x,y) de entrada. La fórmula clásica que utiliza es la de **interpolación de Lagrange**.

$$p(x) = \sum_{1 \leq j \leq N} y_j \prod_{\substack{1 \leq i \leq N \\ i \neq j}} \frac{x - x_i}{x_j - x_i}.$$

Ecuación 12: fórmula de Lagrange

El problema, por ejemplo, de este tipo de interpolación, viene dado por el grado del polinomio a representar. Puesto que se consigue que la curva pase por todos los datos iniciales, a medida que el grado de la curva aumenta, las fluctuaciones entre cada uno de los datos discretos son mayores, obteniendo una curva poco suavizada (no siendo el objetivo perseguido). De este modo, este tipo de interpolación no es viable para polinomios a partir del grado 4.

En ese caso, y si los datos de partida son más dispersos, es necesario acudir a métodos de aproximación para su representación (que permitan obtener curvas más lisas que si lo hacemos mediante interpolación). Estos, típicamente se utilizan mediante funciones de aproximación que se obtienen a partir de combinaciones lineales de otras funciones más sencillas.

2.6.2 Redes Neuronales Artificiales en el ajuste de curvas

Como ya se comentó en puntos anteriores, las Redes Neuronales son de aplicación en multitud de problemas complejos relacionados con el reconocimiento de patrones y aproximación de funciones. Puesto que son capaces de detectar relaciones complejas y no lineales entre variables, permiten encontrar, a partir de unos datos de entrada, unos de salida relacionados con los primeros por algún tipo de correlación o dependencia.

En el caso del ajuste de curvas, las Redes Neuronales son capaces de, a través de la relación existente entre n pares (x,y) , devolver $n+m$ pares (x,y) . A través de las distintas neuronas que la forman (y que están interconectadas) y, tras aplicar una serie de funciones (propagación, activación y transferencia) la red **detecta la relación existente entre los n puntos de entrada** para, siguiendo con la misma, devolver $n+m$ datos de salida.

Las arquitecturas de redes más utilizadas para la aproximación de funciones se definen a continuación.

2.6.2.1 Perceptrón multicapa

Se trata de una de las arquitecturas más utilizadas para resolver problemas, principalmente de aproximación. Se evalúan un conjunto de datos de entrada para obtener una serie de valores reales (o vectores que los contengan) [70].

Están formadas por una capa de entrada (que solo recibe y propaga los datos a la siguiente capa), una de salida (que proporciona la respuesta al exterior) y la oculta (que realiza procesamiento no lineal a los datos).

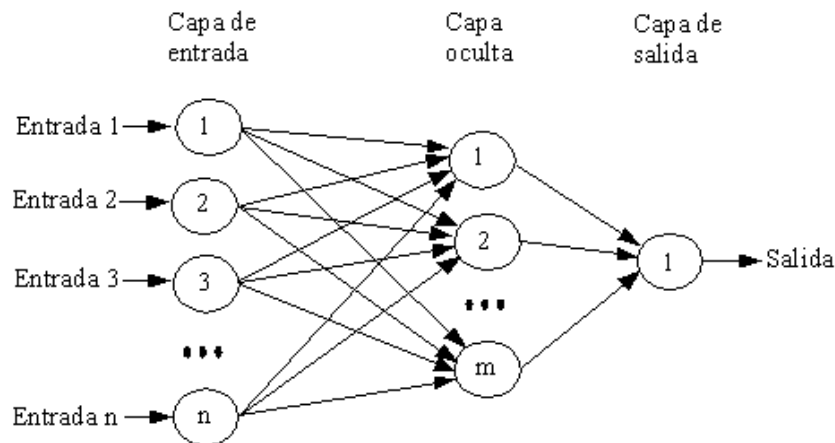


Ilustración 15: arquitectura perceptron multicapa

Para establecer una relación entre las variables de entrada y de salida de la red, se propagan los valores iniciales a través de la misma, de modo que cada neurona la recibe, produce una respuesta y la propaga. Para ello se hacen uso de las conexiones que conectan a cada una con las neuronas de la siguiente capa de modo que, finalmente, el resultado llega a la salida.

El aprendizaje en el perceptrón multicapa sigue los siguientes pasos:

- 1- Se inicializan los pesos y umbrales, siendo estos valores aleatorios próximos a 0.
- 2- Se presenta un patrón “x” de entrenamiento y se propaga hacia la salida para obtener $y(x)$.
- 3- Se evalúa el error cuadrático para cada patrón de entrada, comparando el valor de salida con el real.
- 4- Se aplica la Regla Delta Generalizada para modificar pesos y umbrales:
 - Se calculan los valores δ para todas las neuronas de la capa de salida.
 - Se calcula δ para el resto de neuronas, empezando por la última capa oculta y terminando en la capa de entrada.
 - Se modifican los pesos y umbrales.
- 5- Se repiten los pasos 2, 3 y 4 para todo el patrón de entrenamiento.
- 6- Se evalúa el error total de la red.
- 7- Se repite hasta alcanzar el error mínimo de entrenamiento, realizando “m” ciclos. Se pueden establecer otros criterios de parada (el error del entrenamiento se estabilice o, en su defecto, el error de validación).

2.6.2.2 Redes Neuronales Artificiales de base radial (RBFN)

Consideradas de las Redes Neuronales más antiguas, y por tanto pioneras dentro en este campo de investigación, se tratan de redes multicapa, con conexiones hacia delante y una única capa oculta. Cada neurona, o función de base radial construye su propia aproximación no lineal dentro de una región del espacio de entrada y, la envía hacia delante [71].

Al igual que el perceptrón multicapa, una red neuronal de base radial está dividida en tres secciones diferentes (o capas):

- **Capa de entrada:** se encarga de transmitir las señales de entrada a las neuronas ocultas sin realizar ningún tipo de procesamiento. Su unión con la capa intermedia no lleva pesos asociados.
- **Capa oculta:** en esta capa se realiza una transformación local y no lineal de los datos recibidos a través de la capa de entrada. Se determina mediante las funciones de base radial dependientes de los datos de entrada. Las tres funciones de base radial más utilizadas son la **gausiana**, la **inversa cuadrática** y la **inversa multicuadrática**.
- **Capa de salida:** realiza la combinación lineal de las activaciones (aproximaciones locales) de las neuronas ocultas. La combinación que realiza es el resultado del sumatorio, por cada una de las neuronas ocultas, de la función de activación de las mismas multiplicado por el peso que tiene asociado a la salida. Se le añade a este resultado, también, el umbral que posea la neurona de salida.

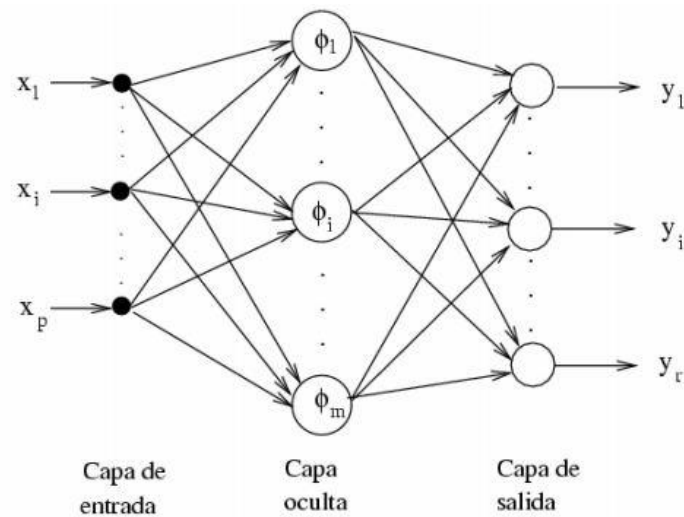


Ilustración 16: arquitectura RRNN base radial

Si las comparamos con las redes multicapa, mencionar que aunque estas requieren un mayor número de neuronas, su proceso de aprendizaje, en tiempo, es mucho menor. Están indicadas, por tanto, para aquellos casos en los que el conjunto de muestras de aprendizaje es bastante elevado.

Para el aprendizaje y entrenamiento, la red trata de determinar los centros, desviaciones y pesos de cada capa oculta con cada una de las capas de salida. Como cada una de estas realiza diferentes tareas, los parámetros son separados de modo que, las desviaciones y centros buscan optimizar el espacio de entrada y los pesos el de salida. Entre los métodos de aprendizaje más comunes destacamos los siguientes:

2.6.2.2.1 Método híbrido:

Método de aprendizaje que consta de **dos fases**: una no supervisada y otra que si lo estás.

En la primera se calculan los centros y las desviaciones con el objetivo de agrupar el espacio de entrada en diferentes clases. La representación de la misma vendrá dada por el centro de la función de base radial, la desviación determinará su amplitud.

En el primer caso, los centros, son calculados mediante un **algoritmo de clasificación** no supervisado que permite dividir el espacio de entrada en **clusters**. El número de estos será igual al número de neuronas ocultas en la red de base radial. El algoritmo más utilizado es el **algoritmo de K-medias**.

En el caso de las desviaciones, las amplitudes se calculan de manera que cada neurona oculta se activa en la región del espacio de entrada haciendo que el solapamiento de las zonas de activación de una neurona a otra sea lo más ligera posible (para suavizar así la interpolación).

En la fase supervisada, se determinan los pesos de cada una de las capas ocultas y el umbral por cada una de las capas de salida. El objetivo de esta segunda fase es el de minimizar las diferencias entre las salidas de la red y las deseadas. De este modo, el proceso de aprendizaje, en este punto, está guiado por la minimización de una función de error computada en salida de la red. Como la salida de la red depende linealmente de los pesos, puede utilizarse un método directo, como es el **método de la pseudoinversa**, o bien el **método de mínimos cuadrados**.

2.6.2.2.2 Método completamente supervisado.

Como su nombre indica, este método está compuesto por una única fase supervisada donde se determinan tanto los centros y las desviaciones como los pesos y umbrales de salida. El objetivo en todos los casos es el de minimizar el error cuadrático medio haciendo que puedan perderse las características locales (no se busca minimizar la interpolación sino el error). Para aplicar el cálculo de los parámetros se aplica el **método de descenso del gradiente**. Puesto que es un proceso iterativo es importante que para empezar todos los parámetros sean inicializados.

Además, mencionar que el método híbrido y el totalmente supervisado son perfectamente combinables entre sí. Por ejemplo, una buena opción sería la de fijar los parámetros con el método híbrido y adaptarlos posteriormente de forma supervisada.

2.7 Métodos de predicción

La predicción constituye una de las esencias claves de las teorías y modelos científicos. El éxito de estos métodos se mide en función del **acierto de sus predicciones** que puede comprobarse al llegar a ese momento futuro. En algunos campos es de gran dificultad aplicar estas técnicas debido a la complejidad de los datos influenciada por las siguientes variables:

- **Variables ocultas** influyentes en los datos.
- **Dinámica desconocida o compleja**, que impide conocer con precisión las relaciones entre las variables de entrada, ya sea porque las predicciones basadas en ellas son complicadas o por problemas relacionados con la computación o cálculo del efecto previsible de las mismas.

En la economía y gestión empresarial estos métodos surgen como respuesta a los problemas de toma de decisiones. Es importante poder contar con una visión futura de modo que, durante el proceso de decisión, se puedan tener en cuenta todas las posibles alteraciones que pueden producirse durante el horizonte temporal relevante para el tema en cuestión. Al predecir se trata de calcular algún acontecimiento futuro, en general, como resultado de un análisis racional o de un estudio de los datos existentes.

2.7.1 Técnicas de predicción económica.

Con las técnicas de predicción se trata hacer pronósticos, lo más próximos a la realidad, de sucesos que todavía no han acontecido partiendo, para ello, del análisis explícito de la información proporcionada por los sucesos ocurridos en el pasado.

En la economía, suelen hacerse uso de **enfoques metodológicos provenientes de la estadística, econometría** en incluso de áreas como la ingeniería, física o psicología. Podemos agruparlos dentro de dos grandes bloques: **metodologías de predicción cualitativas y metodologías de predicción cuantitativas** [72].

2.7.1.1 Métodos cualitativos

Usadas cuando los datos son escasos o no disponibles se enfocan en una **perspectiva más subjetiva**, centrada en aquellos sucesos donde se prevé que el patrón existente en los datos pueda cambiar. Se considera que el pasado no proporciona información sobre el fenómeno a predecir y por tanto, suelen denominarse **métodos sin historia** (por ejemplo, aparición de un producto nuevo en el mercado).

En estos métodos, la estadística no tiene un papel relevante, no existe un volumen de datos alto que investigar y por tanto, es más una herramienta complementaria que un pilar fundamental. En estos casos, lo importante es contar con un buen equipo de trabajo, altamente cualificado, experto en la materia en cuestión y dotados de una gran intuición.

Destacar, entre estos, el denominado **brainstorming**, donde la predicción se efectúa a partir de la **discusión entre un grupo de expertos** sobre un tema determinado, favoreciendo el nacimiento de nuevas ideas y la participación. En este caso, los métodos estadísticos son, prácticamente inexistentes.

Otro método muy usado es el **método Delphi**, donde el objetivo es reunir a un grupo expertos para que realicen predicciones sobre un tema determinado (por ejemplo, si se va a producir un nuevo desarrollo en un área concreta). Con este método se supone que el conjunto de predicciones obtenidas será al menos igual que la calidad de cada uno de los expertos que han colaborado. Se suele hacer uso de **cuestionarios** que eviten reunir físicamente a todos los participantes. Existe un **coordinador** que revisa los mismos, realiza comentarios y los reenvía de modo que todos vayan conociendo las opiniones del resto y haciendo sus aportaciones mediante otros cuestionarios. Al final de múltiples iteraciones, se presupone que se llegará a una predicción conjunta resultado de las distintas opiniones llevadas a consenso.

2.7.1.2 Métodos cuantitativos

Métodos predictivos utilizados cuando se disponen de un gran número de datos históricos (generalmente disponibles a través de series temporales) y se espera que el **patrón existente en los datos se mantenga de forma continuada en el tiempo**. El proceso que se lleva a cabo es el siguiente:

- **Construcción del modelo:** se analizan los datos de partida con el fin de identificar un patrón común, diseñando el modelo de predicción a aplicar. En algunos casos, la teoría puede servir para sugerir modelos ante determinados problemas. En otros casos, la teoría no existe o está incompleta, y se deben basar las especificaciones únicamente en los datos históricos.
- **Fase de predicción:** aplicación del modelo desarrollado en la fase anterior. Es importante asegurarse que los parámetros usados para la construcción del mismo van a permanecer constantes en el futuro (si no, el modelo de predicción creado no tendría validez).

Podemos dividir los modelos cuantitativos en dos grandes bloques: análisis de series temporales y análisis causal.

2.7.1.2.1 Análisis de series temporales

Predicciones de valores futuros de una o más variables utilizando como partida, únicamente, el valor de datos históricos. Básicamente, se centran en **identificar los patrones históricos** y, después, **extrapolarlos** para predecir el futuro, bajo el supuesto de que se **mantendrán constantes**.

Son modelos muy útiles cuando se predice que el **comportamiento va a ser invariante**, pero no para determinar cuáles van a ser los impactos que determinadas decisiones van a poder producir en los resultados. Los análisis de series temporales pueden ser entendidos como una caja negra donde no se intenta conocer cuáles son los factores que afectan a su funcionamiento sino, simplemente, cuál va a ser el resultado bajo condiciones estándar y constantes.

2.7.1.2.2 Análisis causal

Se tratan de métodos usados en aquellos casos donde la variable o variables de estudio están **condicionadas por otras variables externas**. De este modo, buscan identificar que fenómenos produjeron los resultados obtenidos en el pasado para, a partir de ahí, poder usarlos en el futuro, en función de los fenómenos que se vayan observando.

Ofrecen la ventaja de que son capaces de desarrollar múltiples predicciones para un conjunto de datos. En función de distintas variables externas permiten evaluar el impacto de múltiples políticas o decisiones alternativas. Sin embargo, y al incluir múltiples factores son consideradas **más sensibles a los cambios** que las anteriores y requieren las estimaciones de los factores futuros antes de predecir (volviendo más compleja la misma).

De este modo, cuando se dispone de un modelo teórico apropiado, de información estadística suficiente y de una previsión exacta de los factores externos o variables explicativas, es preferible utilizar un modelo causal como instrumento de predicción. Dada la dificultad de que todos estos factores se cumplan, muchas veces son más adecuados los análisis, en su defecto, de series temporales (no teniendo en cuenta otras variables externas). No hay duda de que lo fundamental para tomar esta decisión es analizar el tipo de predicción que deseamos, el horizonte temporal, disponibilidad de los datos, coste y precisión deseada pudiendo llegar incluso a combinar ambos modelos.

2.7.2 Redes Neuronales Artificiales para series temporales

Las Redes de Neuronas han sido muy empleadas en problemas de predicción debido a que son capaces de modelar y predecir series de tiempo lineales y no lineales, con un alto grado de exactitud, y sin requerir de un conocimiento previo del problema [73][74].

La predicción de series temporales se basa en la idea de que un conjunto de datos discretos, y para un momento de tiempo dado, está relacionado con los valores futuros correspondientes al mismo fenómeno (de modo que estos últimos son dependientes de los primeros).

Estos modelos de series temporales pueden ser:

- **Univariantes:** sólo se analiza una serie temporal en función de su propio pasado.
- **Multivariantes:** se analizan varias series temporales a la vez.

Debido a la importancia de este tipo de predicciones, son muchas las investigaciones que se están llevando a cabo en esta área, con el fin de conseguir herramientas de pronósticos más exactas. Por ejemplo, una predicción de demanda de un producto más fiable, permitiría optimizar la **cadena de abastecimiento** y tener el stock justo para no perder ventas ni tener sobrecostes por almacenamiento de los mismos.

Puesto que muchas de las series temporales son de naturaleza no lineal, se hace necesario utilizar **otras técnicas fuera de las clásicas que permitan obtener modelos más eficientes**. Ahí es donde, en los últimos años, las Redes de Neuronas Artificiales han alcanzado mayor protagonismo. Se tratan de herramientas muy útiles en la predicción de series temporales dado que, a diferencia de los métodos estadísticos clásicos, son **capaces de capturar**

relaciones lineales y no lineales entre los datos [75]. Las etapas que siguen para este tipo de predicciones son las siguientes:

- 1- **Búsqueda de las variables de entrada:** tiene el objetivo de identificar los retrasos o rezagos de la serie de tiempo que deben considerarse como entradas de la RNA.
- 2- **Preparación del conjunto de datos:** esta etapa realiza el escalamiento de los datos, **normalizándolos** en el intervalo [0,1].
- 3- **Creación de la red:** especifica cada uno de los elementos que formarán parte de la red.
- 4- **Entrenamiento:** en esta etapa se definen los parámetros de configuración y el algoritmo de entrenamiento. Se usarán dos algoritmos de aprendizaje supervisado que ajustan los pesos sinápticos mediante la minimización del error.
- 5- **Validación:** tiene el objetivo de realizar la validación del proceso de aprendizaje de la red. Se comprueban los datos obtenidos por la red, con los almacenados por esta para este fin, obteniendo los valores de predicción para cada patrón de datos.
- 6- **Cálculo de los factores de comprobación:** calcula los factores que serán utilizados en el análisis de los resultados. Compararán los distintos modelos de Redes Neuronales obtenidos y elegirán la más efectiva para la predicción según una serie de tiempo dada. Para llevar a cabo esta tarea, esta etapa calcula el **error absoluto medio porcentual (EAMP)**, **coeficiente de correlación (R)**, representación gráfica de las series y representación gráfica del EAMP.

3 Tecnologías utilizadas

Esta sección describe cuál ha sido la tecnología utilizada para el desarrollo del proyecto. Se presenta como un conjunto de pequeños manuales, de carácter técnico, que recogen el funcionamiento de las distintas herramientas y bibliotecas empleadas en la implementación.

3.1 Estimación con Redes Neuronales Artificiales en MATLAB

MATLAB dispone del complemento **Neural Network Toolbox** [76] que ofrece una amplia variedad de arquitecturas y funciones de entrenamiento que permiten modelizar sistemas no lineales. Dispone, además, de un conjunto de aplicaciones interactivas que permiten diseñar, entrenar, visualizar y simular la red. Con estas, el código MATLAB se genera automáticamente de forma equivalente, permitiendo facilitar el proceso de desarrollo.

Neural Network Toolbox soporta aprendizaje supervisado y no supervisado, además de ofrecer arquitecturas basadas en el perceptrón, perceptrón multicapa, base radial, **redes competitivas**, etc. Además, y con el objetivo de acelerar procesos de aprendizaje que puedan resultar complejos (debido al gran volumen de datos), permite distribuir los cálculos en **máquinas multinúcleo, GPUs y clusters** utilizando, adicionalmente, **Parallel Computing Toolbox** [77].

Algunos de los campos en los que estas redes son utilizadas son:

- **Aeroespacial:** pilotos automáticos, simulaciones de trayectorias de vuelo, detección de fallo de componentes...
- **Automoción:** sistemas de guiado automático, controladores, análisis de la garantía...
- **Finanzas:** lectores automáticos de cheques, solicitudes de crédito, detección de fraude, calificación de bonos...
- **Defensa:** seguimiento de objetos, reconocimiento facial, eliminación de ruido...
- **Medicina:** análisis de células cancerígenas, diseño de prótesis, análisis de electroencefalografía y electrocardiograma...
- **Telecomunicaciones:** reconocimiento y compresión de voz, compresión de imágenes, traducción en tiempo real de un idioma...

A continuación se explican cuáles son las arquitecturas de redes, de entre las ofrecidas por MATLAB, que han sido utilizadas en este proyecto.

3.1.1 Redes Neuronales multicapa: Feedforward Neural Network

Las Redes Neuronales *feedforward* (o anticipadas) están formadas por una serie de capas; la primera que conecta con los datos de entrada, un conjunto de capas ocultas (que conectan entre sí) y una última capa de salida que produce el resultado de la red. Pueden ser usadas para resolver cualquier tipo de problema y, su resultado dependerá del número de capas ocultas que se usen (para problemas complejos deberá usar un número suficiente de estas que consigan el equilibrio entre tiempo de aprendizaje y rendimiento). Pueden ser entrenadas tanto para aproximar funciones (mediante una regresión no lineal) como para reconocimiento de patrones [78].

Típicamente, las redes *feedforward* están formadas por varias capas ocultas basadas en una **función sigmoide**, seguidas de una capa de salida compuesta por una serie de neuronas lineales. Sus múltiples capas ocultas permiten mediante **funciones de transferencia** no lineales aprender relaciones no lineales entre los inputs y outputs recibidos.

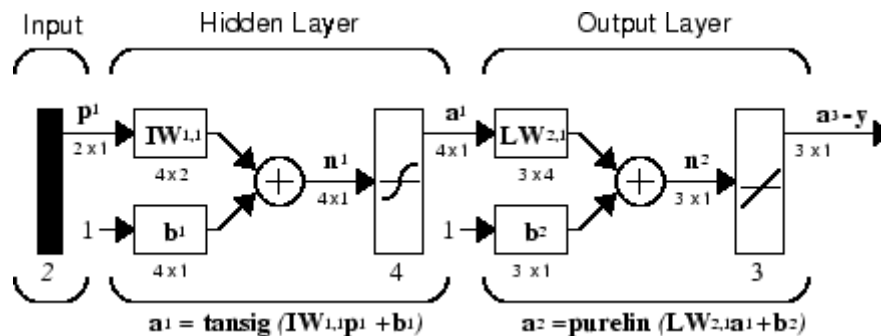


Ilustración 17: arquitectura *Feedforward Neural Network*

Para conseguir su funcionamiento es necesario, en primer lugar, inicializar los pesos y el margen de error permitido (típicamente **mse**) que tendrá la red. Además, es necesario introducir una serie de vectores que permitan guiar el comportamiento de la red durante el proceso de aprendizaje (*inputs* y *outputs* de los que se dispone).

Para crear una red multicapa en MATLAB únicamente tenemos que indicar dos parámetros. Por un lado el número de capas ocultas de la red (por defecto son 10), y por otro lado la función de aprendizaje deseada (por defecto *trainlm*).

```
net = feedforwardnet(hiddenSizes,trainFcn)
```

Respecto a las funciones de entrenamiento mencionar, simplemente, que están basadas en **algoritmos de optimización** numérica que permiten optimizar el rendimiento de las mismas. Los más utilizados, son los basados en el **gradiente** entre rendimiento de la red y pesos de la misma, o el **determinante jacobiano** de los errores cometidos por la red respecto a estos mismos pesos. La función de entrenamiento *trainlm* modifica los pesos y errores de la red en función del **algoritmo de optimización Levenberg-Marquard**.

MATLAB ofrece una interfaz que permite visualizar todo el proceso de aprendizaje de la red. Durante este, se puede observar como **la ventana de aprendizaje** va siendo modificada en función del estado y rendimiento de la misma. Permite, además, visualizar algunos aspectos de la configuración de la red tales como función de entrenamiento, de rendimiento, número de capas ocultas, etc.

Para mostrar el funcionamiento de este tipo de redes en MATLAB, se va a hacer uso, en este caso, de uno de los ejemplos incluidos en la herramienta (*house_dataset*). Vamos a utilizar una red multicapa para estimar la función que relaciona el precio de las viviendas con las características de la zona a la que pertenezcan. Se trata de un estudio realizado en la Universidad de California en 1994 [79] en el que se obtuvieron los siguientes datos de entrada:

`houseInputs (13x506)`: contiene 13 datos acerca de 506 vecindarios diferentes. Entre estos atributos se encuentran:

1. Ratio de violencia per cápita de la ciudad
2. Proporción de zonas residenciales cercanas
3. Negocios mayoristas cercanos
4. 1 si es cercana al río; 0 si no
5. Contaminación
6. Media de habitaciones por vivienda
7. % de habitantes desde hace más de 35 años
8. Distancia principales centros de trabajo de la ciudad
9. Índice de accesibilidad a las principales autopistas de la ciudad
10. Tasa de impuesto de la propiedad
11. Ratio alumnos/profesores de la ciudad
12. $1000(Bk - 0.63)^2$, donde Bk es el % de habitantes negros de la ciudad
13. % población clase baja.

`houseTargets (1x506)`: datos sobre la media de precios de las viviendas de cada una de las 506 zonas analizadas.

Se trata de un buen ejemplo de uso de esta red ya que se puede observar, claramente, como los datos de entrada, no tienen relación lineal con la salida. Cada una de las combinaciones posibles de estos datos originará una salida distinta que, además, no es fácilmente predecible.

Para resolver este problema, creamos una red multicapa que nos permite estimar la función deseada y la entrenamos con los datos de los que disponemos. Enseñamos a la red con unos datos ejemplo, de modo que recibe unos datos iniciales (*inputs*) que queremos que den como resultado unos de salida (*targets*).

```
net = feedforwardnet(20); %20 capas ocultas y entrenamiento trainlm (por defecto)
[net,tr] = train(net, houseInputs, houseTargets); %entrenamiento red
```

Durante el aprendizaje de la red se puede observar, tal y como hemos comentado la siguiente ventana de entrenamiento:

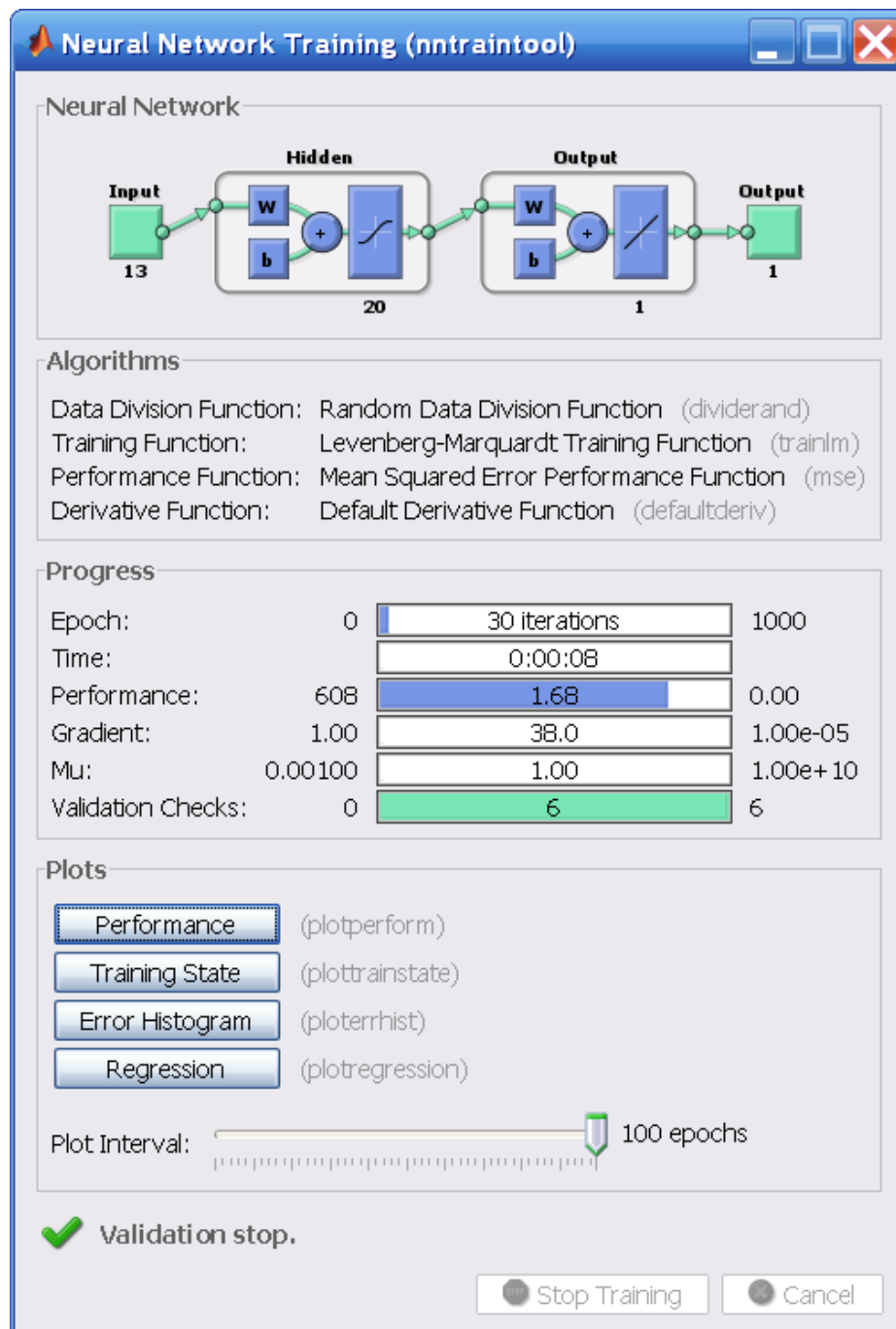


Ilustración 18: Neural Network Training

Podemos distinguir las siguientes áreas:

- **Neural Network:** muestra la arquitectura de la red diseñada. En este caso está formada por una capa de entrada, 20 capas ocultas y una de salida.
- **Algorithms:** indica el método por el que los datos de entrada han sido divididos (de forma aleatoria), la función de entrenamiento (en este caso, por defecto, *trainlm*), la función de rendimiento (basada en el error cuadrático medio) y la función de optimización (también la usada por defecto).

- **Progress:** aporta datos sobre la situación actual de la red. Entre otros, el número de iteraciones que lleva, el rendimiento, tiempo de entrenamiento, valor del gradiente y el número de validaciones (usados para terminar el entrenamiento). Siempre que el gradiente sea menor a su mínimo (en este caso $1.00e-5$) la red finalizará su aprendizaje; en el caso del número de validaciones (representa el número de iteraciones consecutivas en las que no se está alcanzando el rendimiento deseado) la red parará el entrenamiento en caso de alcanzar su valor máximo.
- **Plots:** permite representar de forma gráfica el proceso de entrenamiento (evolución del rendimiento, estado del entrenamiento, errores e **histogramas**).

En este ejemplo, se puede observar como la red ha terminado su entrenamiento debido a que ha alcanzado el número de validaciones máximas (en este caso ha tomado el valor por defecto situado en 6). Esto es de esperar dado la complejidad del problema a resolver. En este caso son muchos atributos (a priori muy diferentes entre sí) los que se desean combinar para obtener un resultado

Una vez diseñada y entrenada la red, esta puede ser utilizada para, en función de nuevos datos de entrada (en este caso datos de los atributos usados en el entrenamiento) obtener el precio estimado que debe tener la vivienda por pertenecer a una zona determinada. Por ejemplo, podremos calcular el precio de la vivienda de la zona XXX (no contemplada inicialmente) si conocemos los 13 datos anteriores:

```
houseInputsXX (13x1) % Valores de las características nueva zona
housePrice = sim (net, houseInputsXX) %Obtenemos precio vivienda zona X
```

3.1.2 Redes Neuronales de base radial

Una de las Redes Neuronales Artificiales que MATLAB tiene incorporadas son las Redes Neuronales de base radial [80]. Estas se basan en un aprendizaje híbrido y su arquitectura se caracteriza por la presencia de tres capas: una de entrada, otra oculta y una única de salida.

Están basadas en una función de transferencia de base radial, que se encarga de calcular la capa de salida a través de las entradas que recibe la red (mediante la primera capa). En MATLAB, esta función viene determinada por dos parámetros, el primero que contiene la matriz con los datos de entrada (N) y el segundo, opcional, con la estructura de los parámetros (FP).

```
A = radbas(N,FP)
```

De este modo, si se desea crear una red de este tipo, solo se deberá llamar a esta función (indicándole los parámetros deseados). Si por el contrario, solo se pretende asignar esta función de transferencia a una de las capas de la red neuronal diseñada (por ejemplo en una red multicapa) se deberá hacer de la siguiente manera:

```
net.layers{i}.transferFcn = 'radbas';
```

A continuación se muestra un esquema de una red de base radial:

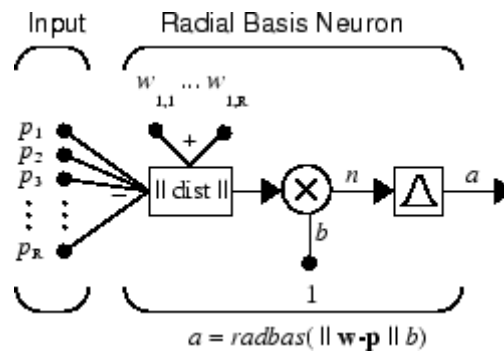


Ilustración 19: arquitectura RNA base radial

Es importante señalar que a diferencia de otras redes, los datos de entrada de la red, y por tanto de la función de transferencia, corresponden al vector distancia entre los pesos dados a la red y los *inputs* de la misma, multiplicados por el sesgo. En la imagen, el vector *dist*, contiene el resultado de la distancia entre los *inputs* *p* y la matriz *w* (que contiene los pesos dados a la red). La función de transferencia de una red neuronal de base radial es la siguiente:

$$\text{radbas}(n) = e^{-n^2}$$

Ecuación 13: función de transferencia RN Radial

La función de transferencia radial podrá ser como máximo 1 cuando sus *inputs* sean 0, es decir el vector de pesos y de datos sean iguales. A medida que la distancia entre los pesos de la red y sus datos de entrada aumente, la salida disminuirá (es decir, existe una relación inversa entre *inputs* y *outputs*).

De este modo, y tal y como he comentado, este tipo de redes estarán formadas por una capa de entrada (mediante la que se recibe el vector *p*), una capa oculta formada por *S1* neuronas (este será el tamaño del vector resultado de la distancia entre *p* y *w*) y una capa de salida formada por *S2* neuronas.

MATLAB ofrece la ventaja de que hace todo este proceso transparente para el usuario. Este, únicamente deberá asignar los pesos a la red y determinar los datos que va a recibir la misma. Cada una de las neuronas de la capa oculta serán las encargadas de transformar los mismos dando un resultado de acuerdo a la similitud entre los *inputs* recibidos y la matriz de pesos (cuando mayor sea la diferencia entre ambos más próximo a 0 será el *output*).

La función *newrb* permite crear una red neuronal de base radial en MATLAB de forma iterativa. Comienza creando una única neurona de forma automática para luego ir añadiendo una por una en función de las necesidades. En cada iteración, se va creando una nueva neurona (que se añade a la red), se calcula el error cuadrático cometido en función del resultado y, en caso de que se alcance la meta establecida finaliza. En caso contrario, este proceso se repite creando nuevas neuronas hasta que el error disminuya lo suficiente o bien, se llegue a un número máximo de neuronas.

```
net = newrb(P,T,GOAL,SPREAD)
```

Para ello, esta función recibe como parámetros los datos de entrada (P), aquellos de los que ya se dispone y, por tanto, que se desean conseguir (T), el máximo error permitido (GOAL), y el *spread* (es decir, la anchura de las funciones radiales). Es importante mencionar que, este último parámetro, divide el espacio de entrada por cada neurona oculta de modo que debe ser un valor lo suficientemente grande para que se contemple parte del espacio de entrada, pero sin que llegue a ocupar todo el rango de este.

Un ejemplo [81] de uso de esta red de base radial sería para aproximar una función definida por una serie de puntos. Es decir, disponemos de unos puntos aislados y deseamos obtener la función continua que más se aproxime a los mismos (será un caso similar al que luego utilizaremos para el cálculo de la Curva Cupón Cero). Para ello disponemos de los siguientes datos de partida:

```
P = -1 : .1 : 1; %Valores x de los que disponemos en el intervalo [-1,1]

T= [-.9602 -.5770 -.0729 .3771 .6405 .6600 .4609 .1336 -.2013 -.4344 -.5000 ...
    -.3930 -.1647 .0988 .3072 .3960 .3449 .1816 -.0312 -.2189 ...
    -.3201]; % Valores de y de los que disponemos
```

Si representáramos, únicamente, los puntos de partida obtendríamos una función discontinua como la que sigue:

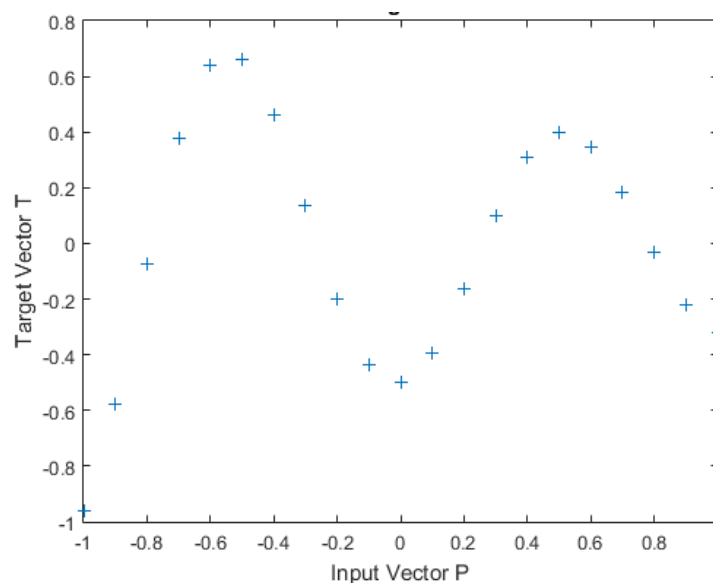


Ilustración 20: Datos de entrada

Puesto que lo que deseamos es encontrar la función que aproxime estos puntos iniciales mediante una red neuronal de base radial haremos uso de la función previamente comentada.

```
eg = 0.02; % mínimo error cuadrático deseado
sc = 1; % spread
net = newrb(P,T,eg,sc); % inicialización de la red
```

Una vez diseñada y entrenada la red, ya puede hacerse uso de la misma para, por ejemplo, aproximar nuevos puntos diferentes a los de entrada (y por tanto, desconocidos).

```
X = -1 : .01 : 1;      % Nuevo rango menor al de entrada 0.01 en lugar de 0.1
Y = sim (net,X)        % Usamos la red para obtener nuevos puntos Y
```

De este modo, podemos observar el resultado final

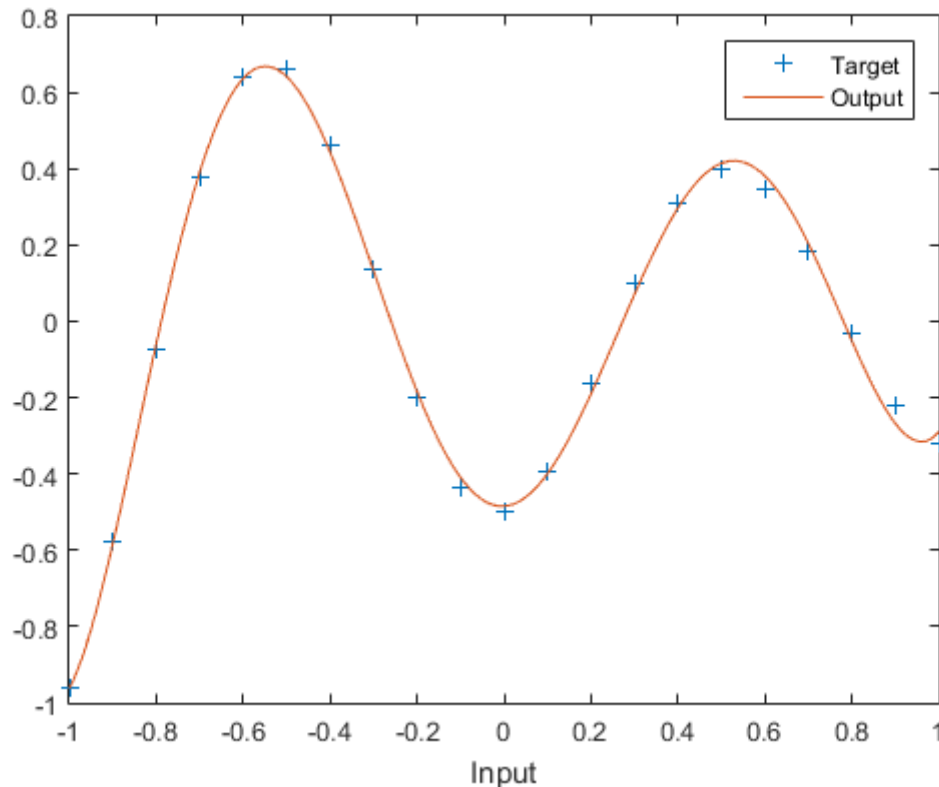


Ilustración 21: Resultado aproximación con RNA Radial

Es importante señalar que este ejemplo puede ser considerado trivial, aunque se ha planteado por ser muy sencillo y útil para el entendimiento de estas redes en MATLAB. A medida que la complejidad de los datos aumenta (y por tanto la relación entre los mismos es no lineal y compleja) el rendimiento de la red es menor. En algunos casos, incluso puede no llegar a conseguir el error deseado, teniendo que parar el entrenamiento sin haber conseguido los resultados esperados. Además, en este caso se ha conseguido una aproximación perfecta (pasando por todos los puntos) no siendo este el resultado más típico. Es muy común que al intentar suavizar la curva algunos datos son descartados (no se trata de una interpolación) tal y como veremos en el cálculo de las CCC que se han realizado.

3.1.3 Redes Neuronales para predicción de series temporales

Las Redes Neuronales Artificiales dinámicas son consideradas, también, buenos predictores de series temporales [82]. Supongamos, por ejemplo, que disponemos de los datos históricos de natalidad en España y queremos predecir cómo van a evolucionar a lo largo del tiempo; podemos estimar el futuro mediante el uso de Redes Neuronales Artificiales.

Para hacer uso de este tipo de redes, MATLAB ofrece una interfaz que permite generar automáticamente el código de las mismas a partir de los parámetros de diseño establecidos. El desarrollador solo debe encargarse de definir cuáles son los datos de entrada y qué red neuronal temporal es la más adecuada para realizar la predicción (y su configuración). Permite

diseñar, también, la red de forma directa a través de la línea de comandos pero esto resulta mucho menos intuitivo y complejo. Lo óptimo, es partir de la interfaz y luego, ir modificando el mismo según el comportamiento deseado.

Para acceder a la interfaz de diseño de redes (*Neural Network Start GUI*), únicamente debe teclearse el siguiente comando:

```
nnstart
```

Esto da como resultado una ventana que permite elegir entre distintos tipos de problemas a resolver (cada uno de ellos, además con una serie de datos ejemplo que permite comprobar su funcionamiento). En este caso, y puesto que lo que deseamos con este tipo de redes es predecir valores futuros, usaremos la herramienta *Time Series Tool* (se puede acceder directamente a ella sin pasar por la ventana inicial tecleando en la línea de comandos `ntstool`).

Tras esto aparece, ahora sí, la ventana que permite diseñar la red neuronal para predicción de series temporales: *Neural Network Time Series Tool*.

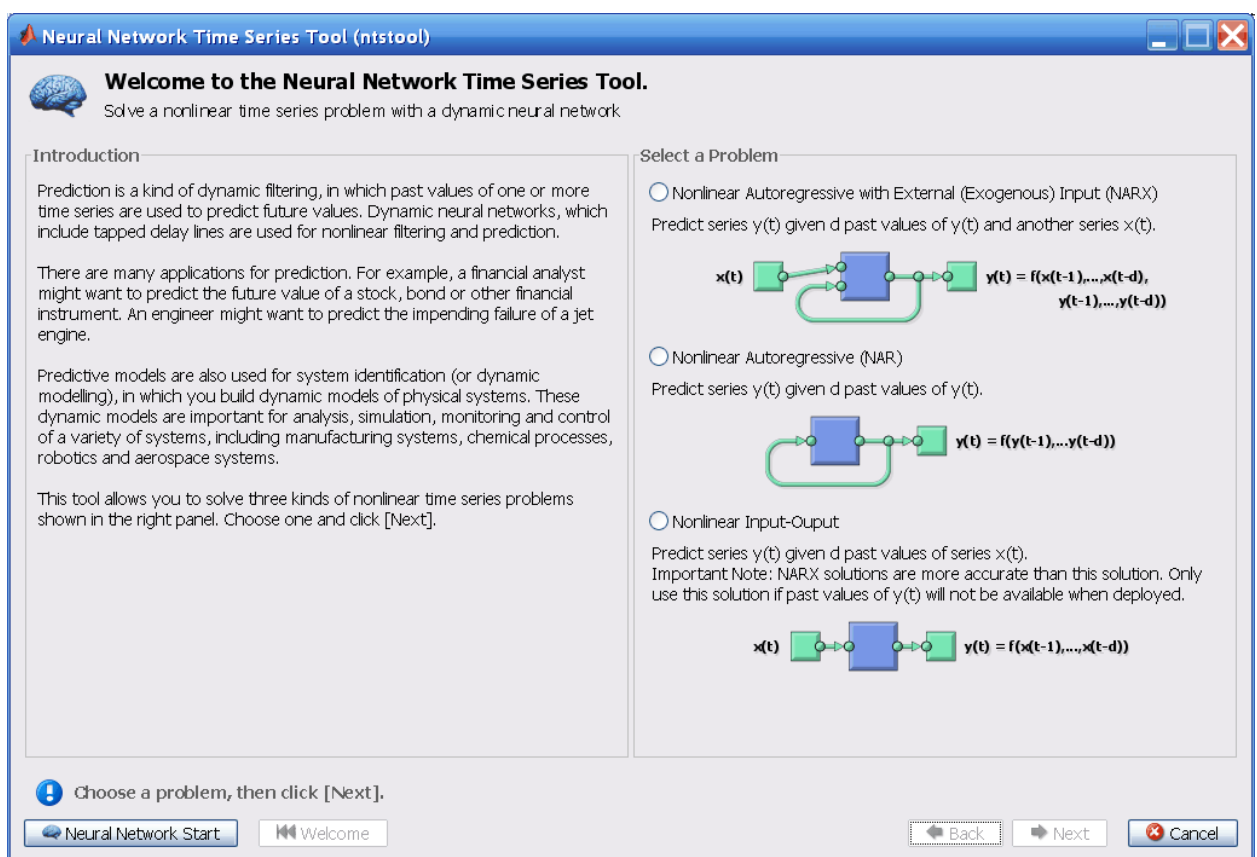


Ilustración 22: interfaz Neural Network Time Series Tool

Contiene una breve introducción sobre este tipo de redes, cómo son usadas para predecir valores futuros y qué aplicaciones pueden tener (entre ellas, la predicción del valor futuro de instrumentos financieros). Además, ofrece tres herramientas distintas a elegir según el tipo de problema (basado en series temporales) que se desea resolver:

- **NARX Network: Non-Linear autoregressive with exogenous (external) input**

Permite resolver problemas cuando lo que se desea es obtener el valor futuro de una variable, afectada, no solo por su valor pasado, sino también por el pasado de una segunda (variable exógena). Puede representarse como sigue:

$$y(t) = f(y(t-1), \dots, y(t-d), x(t-1), \dots, (t-d))$$

Este tipo de modelos es recomendado para predecir valores futuros de inventarios o bonos, entre otros. Son adecuadas debido a que este tipo de variables, por ejemplo, están condicionadas no solo por su propio valor sino, también, por otras circunstancias de la economía (tipos de interés de mercado, tasa de paro, confianza...).

- **NAR Network: Non-Linear autoregressive**

Se trata de arquitecturas usadas cuando la variable a predecir está influenciada, solamente, por sí misma, sin haber variables externas que la influyan. Los valores futuros de la misma son función de sus valores pasado de modo que puede expresarse la relación como sigue:

$$y(t) = f(y(t-1), \dots, y(t-d))$$

Este tipo de modelos pueden ser usados, también para predecir el valor de instrumentos financieros aunque, en este caso, sin el uso de una serie de valores externos relacionados.

- **Non-Linear input/output model**

Similar a las arquitecturas NARX, esta última está basada en una serie de valores de entrada, $x(t)$ y una serie de valores objetivo de salida, $y(t)$. La red se entrena intentando conseguir esos valores objetivos, a partir de los de entrada. De este modo, esta red puede ser utilizada para predecir valores de $y(t)$, a través de valores de $x(t)$ de los que no se conoce el resultado. Puede expresarse como sigue:

$$y(t) = f(x(t-1), \dots, x(t-d))$$

El modelo de predicción NARX puede ser mejorado mediante el uso de estos modelos inputs/output, ya que se basa en información adicional contenida en los valores pasados de $y(t)$ (en aquellos casos en los que esta está disponible). De este modo, estos modelos serán óptimos en aquellos casos en los que conozcamos valores pasados de entrada y de salida de la problemática a resolver.

Tras la selección de la arquitectura, MATLAB ofrece una ventana que permite seleccionar los datos de entrada de la red (en el caso de arquitecturas NARX e input/output) y los deseados como salida (en todos los modelos). Existen una serie de datos ejemplo que proporciona la herramienta y que permiten aprender cómo funciona la red. Por otro lado, si se prefiere, se pueden cargar datos propios para usarlos en el asistente, para ello debemos definirlos

previamente mediante la línea de comandos de MATLAB (de modo que queden guardados como variables).

En este caso, vamos a proponer un ejemplo en el que se desea resolver un problema de tipo NAR. Se han seleccionado los datos *oil_dataset* que proporciona MATLAB. Se pretende predecir el siguiente valor de una serie temporal a partir de sus valores históricos. En este caso, se van a usar los datos para entrenar una red neuronal que prediga, mensualmente, el precio del gas y el petróleo. Estos datos, no son más que un vector que contiene 180 precios, mensuales, del petróleo.

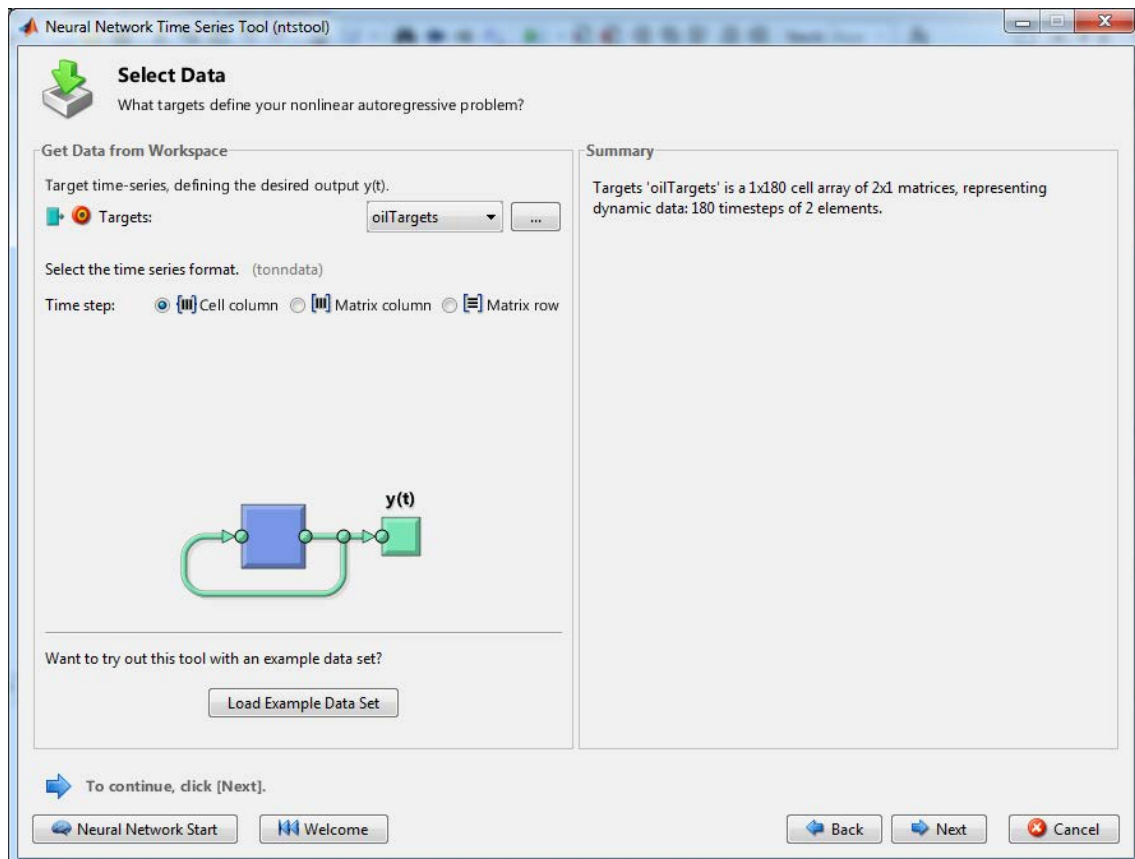


Ilustración 23: selección datos Neural Network Time Series Tool

Una vez indicado cuáles van a ser los datos de entrenamiento, deben seleccionarse cuáles van a ser los datos de validación y los de prueba. Es decir, del total de datos deberán dividirse en:

- **Datos de entrenamiento:** son aquellos usados, como su nombre indica, para entrenar a la red. Esta irá ajustando su aprendizaje en función del error cometido respecto a ellos.
- **Datos de validación:** son usados como medida de generalización de la red, es decir, esta finalizará su entrenamiento, cuando esta generalización deje de mejorar.
- **Datos de prueba:** datos que no afectan al aprendizaje de la red, sino que son ofrecidos como una medida independiente del rendimiento de la red (durante y después del entrenamiento).

Típicamente, esta división se hace de la siguiente manera:

- 70% de los datos serán usados para el entrenamiento.
- 15% de los datos servirán de validación.
- El restante 15% serán usados como datos de prueba.

Estos porcentajes pueden ser cambiados por el usuario según crea conveniente, siendo conscientes de que su elección afecta de forma directa al rendimiento de la red diseñada.

Tras la selección de los datos de partida (y habiendo identificado el porcentaje del total destinado a la validación y prueba) se debe seleccionar cuál va a ser la arquitectura de la red a utilizar. En particular, se debe indicar cuáles van a ser el número de capas ocultas de la red, y cuál el número de *delays* (d). Recordemos que el problema a resolver sigue la función:

$$y(t) = f(y(t-1), \dots, y(t-d))$$

Por defecto, el asistente define una red NAR con 10 capas ocultas y 2 retrasos. Es recomendable entrenar a la red con estos parámetros y cambiarlos, solamente, en el caso de que el rendimiento de la red no haya sido el deseado (el asistente ofrece la posibilidad tras el entrenamiento de cambiarlos).

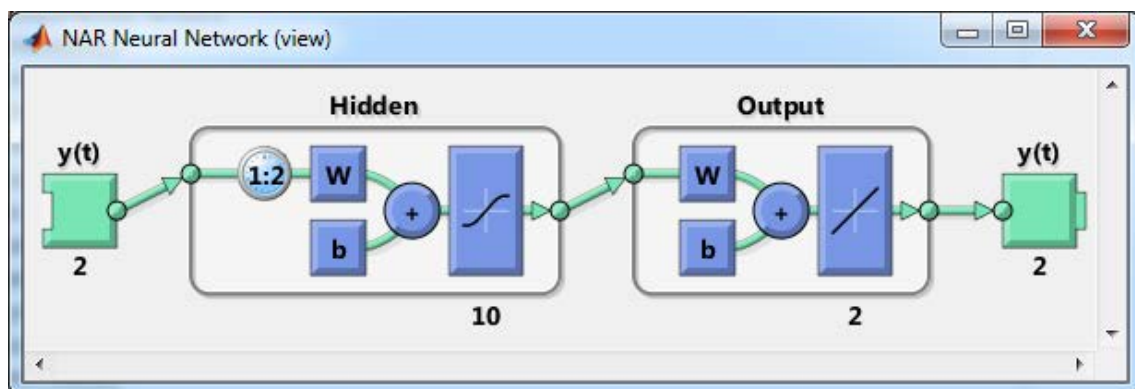


Ilustración 24: arquitectura red NAR

La red NAR estándar, no es más que una red de tipo *feedforward* con dos capas. La capa oculta (en este caso serán 10 idénticas) basada en una función de transferencia **sigmoideal**, y la capa de salida basada en una función de transferencia lineal. Además, en función del valor de la variable *delays*, este tipo de red almacena valores previos de $x(t)$ (en este caso 2), siendo de este modo la salida $y(t)$ retroalimentada por estos. Por otro lado, la red es creada y entrenada siguiendo un esquema abierto. Esto quiere decir que el entrenamiento se hace mediante un único paso (a diferencia de los esquemas cerrados donde son múltiples los pasos a realizar). Esto logra una mayor eficiencia, ya que permite dar a la red un correcto **feedback** usando los valores de entrada, y no lo estimados. Esto convierte a la red en una red *feedforward* pura que usa para el entrenamiento valores más exactos. Sin embargo, es importante destacar, que tras el entrenamiento, la red puede ser convertida en una red cerrada (que se retroalimenta a través de las salidas) o en cualquier otra que la aplicación requiera.

Finalmente, y tras haber diseñado la red al completo, se pasa al entrenamiento de la misma. En este caso, este está basado, por defecto, en la propagación Levenberg-Marquardt. Este

entrenamiento es igual al explicado en las redes *feedforward* (punto 3.1.2) y, en este caso, termina al haber alcanzado el número de validaciones máximas (en este caso ha tomado el valor por defecto situado en 6).

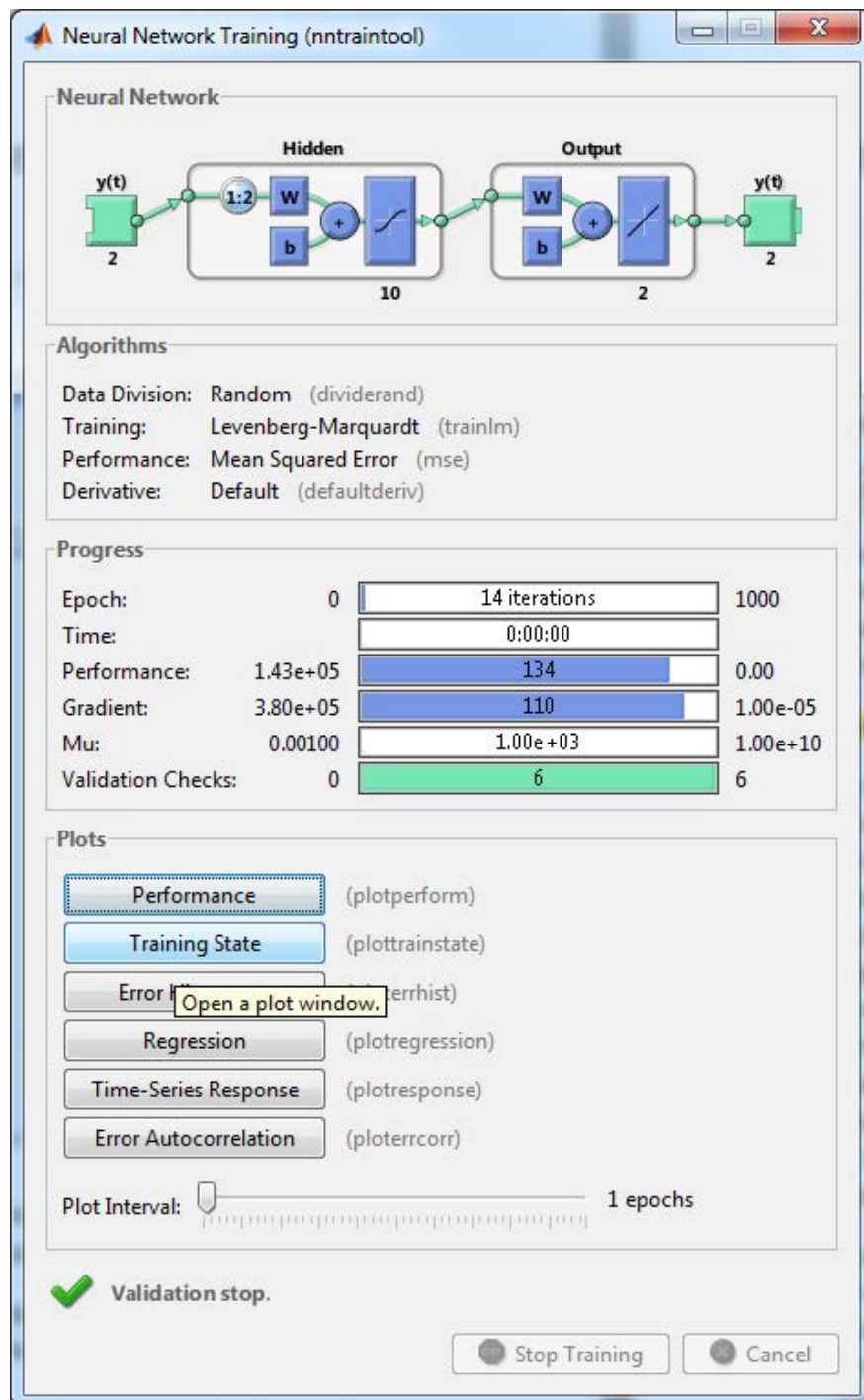


Ilustración 25: entrenamiento Neural Network Time Series Tool

Además, el asistente *Neural Network Time Series Tool*, permite visualizar los resultados, dividiendo estos por tipos de datos. Muestra el número de valores tomado para cada uno de ellos, cuál ha sido el error cometido (en este caso basándolo en el error cuadrático medio) y el coeficiente de correlación (siendo un valor entre 0 y 1 que indica el grado de relación entre los valores de salida y los objetivos).

La siguiente ventana, permite evaluar el proceso de aprendizaje, pudiendo realizar más pruebas a la red, por ejemplo con más datos, decidiendo, en consecuencia, si el rendimiento ha sido el adecuado o no. Para ello, ofrecen distintas opciones:

- **Continuar el entrenamiento:** permite entrenar de nuevo a la red si se considera que el primer intento no generó buenos resultados. Para ello, se puede seguir con los mismos datos o, por el contrario, cambiarlos.
- **Incrementar el tamaño de la red:** permite modificar la arquitectura de la misma añadiendo, por ejemplo, un mayor número de capas ocultas, o un mayor número de retrasos.
- **Aumentar el número de datos:** si la red continúa sin funcionar, es posible que se necesite un mayor número de datos de entrada. Por ejemplo, en vez de darle 180 valores históricos, puede ser conveniente darle 250.
- **Otros test de rendimiento:** se pueden seleccionar otros datos de entrada (o los mismos) para evaluar el rendimiento de la red (en términos de mse y coeficiente de correlación).

Finalmente, y una vez que se han obtenido los resultados deseados, MATLAB permite guardar los resultados generando en un **script** con el código (que luego puede ser modificado para obtener otros usos), guardando simplemente los resultados (errores, salidas, red diseñada...) o generando diagramas. A través de la variable *outputs* se puede ver los resultados obtenidos por la red, así como el error cometido y el rendimiento. Además, se puede predecir cuál va a ser el valor en $y(t+1)$ antes de que esto ocurra. Para ello se crea una red de predicción adelantada (a través de la anterior) de modo que devuelve como salida los valores anteriores de la red más uno nuevo (el futuro). El código sería el siguiente (aunque puede obtenerse del script generado por el asistente *Neural Network Time Series Tool*).

```
nets = removedelay(net);    % net = RNA generada con el asistente
[xs,xis,ais,ts] = preparets(nets,{}, {},targetSeries);
ys = nets(xs,xis,ais);    % ys contendrá t+1 valores
```

3.2 Interfaces Matlab: GUIDE

Las GUI (o interfaces gráficas de usuario) permiten a los usuarios un control sencillo de las aplicaciones software, sin necesidad de aprender el lenguaje de la misma o de tener que escribir comandos para ejecutarla.

Las aplicaciones en MATLAB permiten, también, crear un frontal gráfico que automatice una determinada tarea o cálculo [83][84]. Por lo general, estas interfaces incluyen controles tales como menús, barras de herramientas, botones y controles deslizantes. Además, muchos productos de MATLAB, como se ha mostrado en el caso del complemento *Neural Network Toolbox*, incluyen interfaces de usuario personalizadas que permiten al usuario hacer uso de los mismos de una forma más sencilla e intuitiva.

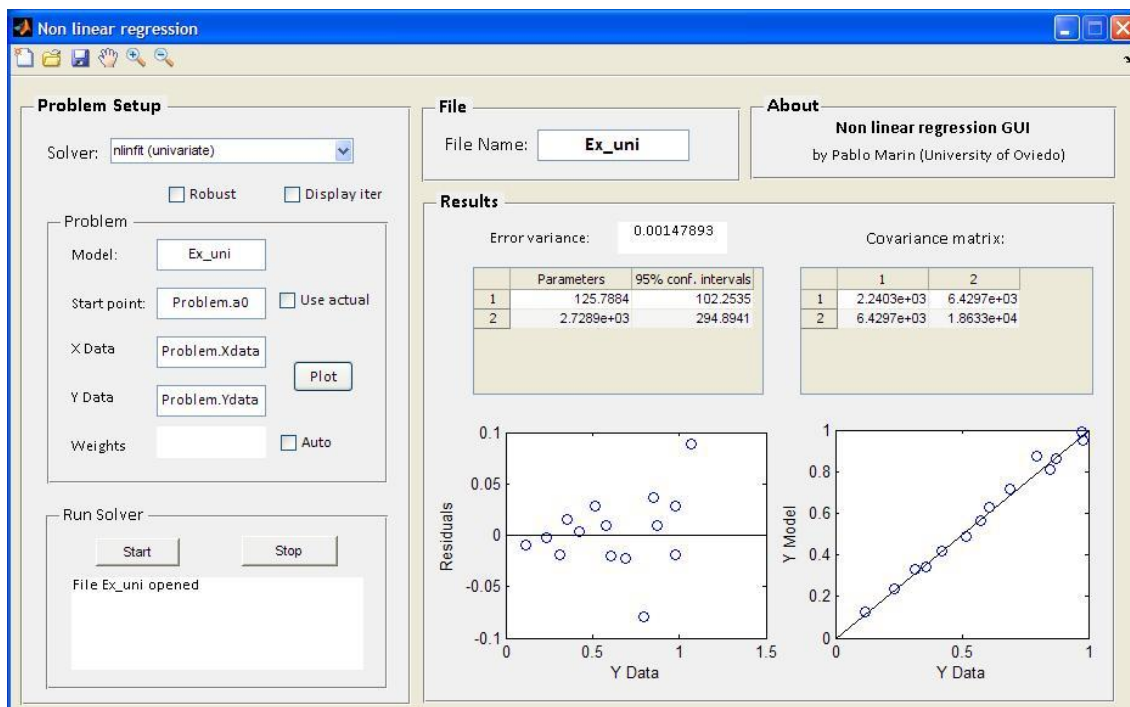


Ilustración 26: ejemplo MATLAB GUI

Por otro lado, MATLAB también permite crear aplicaciones personalizadas con interfaces propias para que puedan ser usadas por cualquier usuario. Se pueden crear las mismas de dos formas distintas:

- **Creación de una GUI de MATLAB de forma interactiva:** MATLAB dispone de GUIDE, el entorno de desarrollo de interfaces de usuario, que proporciona herramientas para diseñar las mismas de forma personalizada. Mediante el editor de diseño, es posible diseñar gráficamente la **interfaz** siendo MATLAB el que automáticamente genera el código. Este deber ser modificado por el desarrollador, únicamente, para determinar el comportamiento de cada uno de los elementos (por ejemplo, la acción que se llevará a cabo cuando un usuario pulsa un botón).
- **Creación de una GUI de MATLAB de forma programática:** en los casos en los que el desarrollador desee tener un mayor control sobre el diseño y la

implementación, este puede crear código MATLAB que defina las propiedades y el comportamiento de todos los componentes. MATLAB contiene funcionalidad integrada que ayuda a crear la GUI de forma programática. Cabe la posibilidad de agregar cuadros de diálogo, controles de interfaz de usuario (como botones y controles deslizantes) y contenedores (como paneles y grupos de botones).

Los componentes disponibles para incorporar a sus interfaces son los siguientes:

- Listbox: listas.
- Push Button (Botones): permiten ejecutar una actividad.
- Static Text (texto estático): permite establecer texto que no puede ser modificado por el usuario pero sí por la aplicación.
- Edit Text: permite establecer texto que sí puede ser modificado por el usuario
- Axes: ejes para dibujar gráficas.
- Check Box
- Radio Button
- Panel: contenedor de componentes que permite dividir el espacio de la interfaz en distintas secciones.
- Button Group: agrupador de botones de radio.
- Table: tabla donde mostrar variables.
- Slider
- Pop-up menú: lista desplegable.
- Toggle-Button: alternador.
- ActiveX Control
- Barras de menus y barras de herramientas

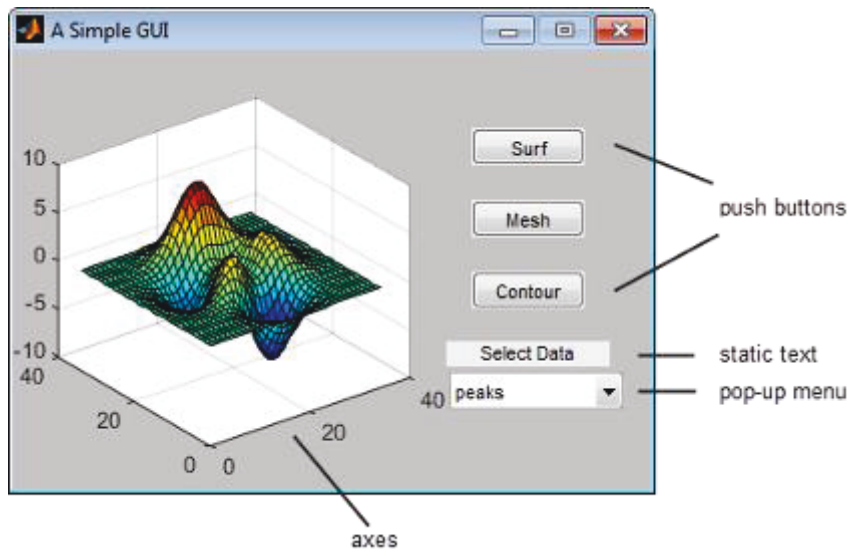


Ilustración 27: ejemplo interfaz MATLAB

Cada uno de estos componentes posee propiedades propias que permiten establecer sus características. GUIDE proporciona la herramienta *Property Inspector* encargada de realizar el mantenimiento de estas propiedades (basta con hacer doble *click* sobre uno de los componentes). La más importante es la propiedad *Tag* que permite referenciar el componente dentro del código fuente. Todos los componentes (mediante su etiqueta) forman la estructura *handles*, que es a través la cual se hacen estas referencias (por ejemplo `handles.etiqueta1`).

Para crear una interfaz mediante el entorno de desarrollo GUIDE, únicamente debe teclearse en la línea de comandos lo siguiente:

```
guide
```

Con esto, conseguimos cargar inmediatamente *GUIDE Quick Start* que permite seleccionar qué tipo de interfaz crear: una en blanco en la que comenzar a diseñar desde cero o una con algunos elementos predeterminados (puede visualizarse en la misma pantalla cómo es la interfaz seleccionada). Por defecto, se comenzará con una GUI en blanco.

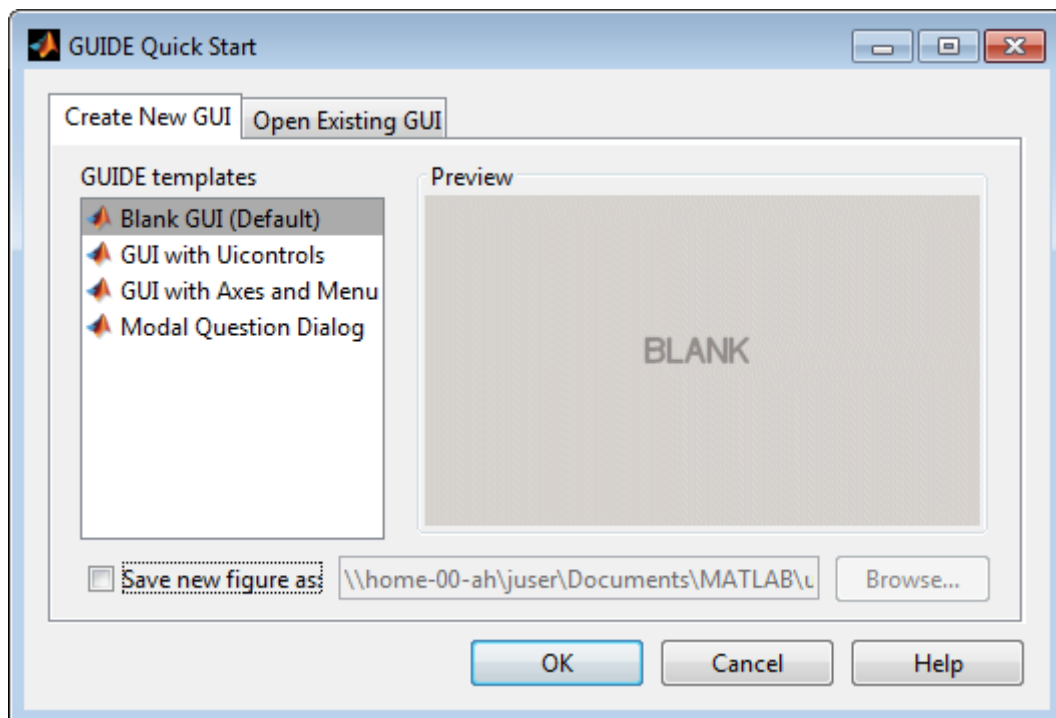


Ilustración 28: GUIDE Quick Start

Una vez seleccionada el tipo de interfaz a diseñar, por ejemplo una en blanco, se carga la ventana *GUIDE Layout Editor*. Esta es la que permite ir añadiendo cada uno de los componentes que se desee a la interfaz.

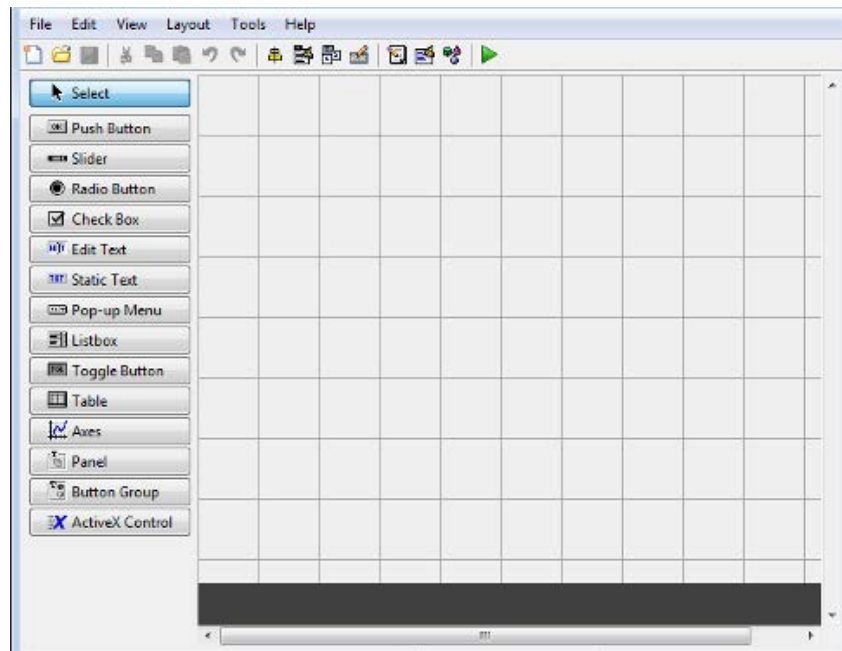


Ilustración 29: GUIDE Layout Editor

Es importante mencionar que toda aplicación GUIDE consta como mínimo de dos archivos:

- **Archivo .fig:** contiene la descripción completa del diseño y sus componentes y únicamente puede ser modificado por el *GUIDE Layout Editor*.
- **Archivo .m:** contiene el código MATLAB creado automáticamente durante el diseño de la interfaz. Está formado por código de inicialización y plantillas para la codificación de funciones *callback* (o **subrutinas**) que permiten controlar el comportamiento de la interfaz. Dentro del mismo se pueden identificar los siguientes elementos:
 - Comentarios: algunos por defecto al generar el código.
 - Función principal: en la que se especifican las tareas de inicialización de la GUIDE. El desarrollador no debe modificar este código.
 - Función de apertura (OpeningFcn): realiza tareas de inicialización antes de que el usuario tenga acceso a la interfaz (y realice alguna acción):
 - Función de salida (OutputFcn): devuelve salidas a la línea de comandos MATLAB.
 - Funciones callback: parte más importante para el desarrollador y aquellas que debe modificar. Son las que controlan el comportamiento de cada uno de los componentes de la interfaz siendo invocadas como respuesta a un evento determinado.
 - Funciones de ayuda: realizan tareas auxiliares no estando relacionadas de forma directa con ningún evento de la ventana principal o componente.

De este modo, una vez que se ha diseñado la interfaz, es decir, se han seleccionado todos los componentes que se desea tenga y se han ubicado en la ventana principal, se debe programar cuál es el comportamiento que va a tener cada uno de estos. Para ello, el desarrollador debe modificar el código que MATLAB genera de forma automática (a la vez que genera el archivo .fig) codificando las respuestas (funciones *callback*) ante eventos ocurridos sobre cada uno de

sus componentes. Por ejemplo, cuando el usuario pulsa un botón de la interfaz el flujo de ejecución sería el siguiente:

1. El usuario pulsa el botón cuyo *tag* es “*botonEjemplo*”
2. Se llama a la función *callback* cuya etiqueta es “*botonEjemplo*”. Para ello, el desarrollador ha tenido que, previamente, codificar la misma indicando qué tarea se va a llevar a cabo cuando ese componente sea pulsado.
3. Se realiza la tarea indicada y se vuelve a estado de reposo.

Es importante mencionar que el estilo de programación en GUIDE es estructurado, orientado a componentes y guiado por eventos sucedidos en alguno de estos.

Se puede observar cómo de sencillo es el uso de interfaces en MATLAB a través del entorno de desarrollo GUIDE. El desarrollador solo debe codificar el comportamiento de cada uno de los componentes siendo, en muchos casos únicamente, llamadas a otras funciones ya programadas previamente, o paso de variables a través de la estructura *handles* que proporciona la interfaz. El diseño de la misma se hace de forma visual lo que favorece al desarrollador escoger los elementos a incluir y la distribución de los mismos. Aunque se tratan de interfaces de apariencia muy sencilla y poco visual, son lo suficientemente prácticas para el tipo de aplicaciones que se desarrollan con MATLAB (no se trata de aplicaciones comerciales sino, más bien, destinadas al estudio y la investigación).

3.3 Datafeed Toolbox: Bloomberg®

Otra de las herramientas de las que dispone MATLAB es el denominado **Datafeed Toolbox**. Este proporciona acceso a datos financieros a través de la conexión a los principales proveedores de los mismos. Integrando este complemento en MATLAB, se puede desde realizar análisis, desarrollar modelos y crear gráficos que muestren el comportamiento de los mercados. Además, también permite exportar datos desde MATLAB a algunos de estos proveedores favoreciendo la integración con los mismos.

Su uso es muy sencillo e intuitivo ya que permite, mediante el uso de funciones sencillas, diseñar consultas que permitan acceder a todos o a unos campos de un determinado valor y para un periodo de tiempo concreto.

Datafeed Toolbox [85] proporciona acceso a los siguientes proveedores de datos financieros: **Bloomberg®**, **FactSet®**, **FRED®**, **Haver Analytics®**, **Interactive Data™**, **IQFEED®**, **Kx Systems®**, **SIX Financial Information**, **Thomson Reuters®** y **Yahoo!® Finance**.

En este proyecto se ha usado este complemento para acceder a datos provenientes del sistema Bloomberg®. A través de esta herramienta se puede acceder a datos en tiempo real, intradía, históricos y valores en sí mismos de los principales mercados.

Aunque son muchas las funciones para comunicarse con Bloomberg® de las que **Datafeed Toolbox** dispone, a continuación se detallan las principales que permiten la comunicación básica entre un programa MATLAB y dicho proveedor.

3.3.1 Conexión a Bloomberg®

MATLAB permite establecer la conexión con el proveedor Bloomberg® usando hasta cuatro servicios Bloomberg® diferentes.

Para establecer la conexión desde el propio terminal de Bloomberg®, solamente es necesario ejecutar la siguiente función en la línea de comandos:

```
c= blp
c =
  blp with properties:
    session: [1x1 com.bloomberglp.blpapi.Session]
    ipaddress: 'localhost'
    port: 8194
    timeout: 0
```

Tal y como se puede observar en el cuadro anterior, esta función devuelve el objeto de conexión “c” junto con todas sus propiedades.

Si por el contrario, la conexión con el servidor Bloomberg® se va a hacer de forma remota (es decir, el programa MATLAB no se va a ejecutar en un terminal Bloomberg®) esta se puede establecer mediante la dirección IP de la máquina en la que esté corriendo el servidor.

```
uuid = 12345678;           % indicamos Bloomberg UUID
serverip = '111.11.11.111'; % dirección IP del servidor Bloomberg

c = blpsrv(uuid,serverip)
c =

    blpsrv with properties:

        uuid: 12345678
        user: [1x1 com.bloomberglp.blpapi.impl.aT]
        session: [1x1 com.bloomberglp.blpapi.Session]
        ipaddress: '111.11.11.111'
        port: 8195
        timeout: 0
```

También se puede establecer la conexión mediante **B-PIPE Bloomberg®**, o mediante licencia de conexión con el servidor de datos (indicando previamente, nombre de usuario y contraseña).

Una vez creada la conexión con el servicio, se puede verificar la conexión mediante el siguiente comando:

```
v = isconnection(c) % devuelve 1 si todo correcto y 0 en caso contrario
```

También se pueden obtener las propiedades de la conexión, una vez esta ha sido creada, en el momento que se desee. Serán devueltas mediante una estructura que contendrán el objeto de sesión Bloomberg®, la dirección IP, puerto de conexión y tiempo de espera.

```
v = get(c)
v =

    session: [1x1 com.bloomberglp.blpapi.Session]
    ipaddress: 'localhost'
    port: 8194
    timeout: 0
```

Para cerrar la conexión Bloomberg®, independientemente del modo en que se haya creado, solamente deberá ejecutarse el siguiente comando:

```
close(c)
```

3.3.2 Consulta de datos

Como ya hemos comentado, MATLAB permite realizar consultas a Bloomberg® tanto en tiempo real, como consultas históricas.

Para ello, lo primordial antes de realizar la petición, es conocer el identificador del valor del que se desea extraer información (en el caso de Bloomberg® mediante su **TICKER** o **Id Bloomberg®**). Así mismo, también es imprescindible conocer el nombre de los campos que se

desean obtener (por ejemplo el precio final de un activo se denominará LAST_PRICE). Puesto que los campos y sus nombres varían en función del tipo de activo al que estemos haciendo referencia, siempre se puede conocer cuáles son los disponibles a través del terminal Bloomberg®, tecleando “FLDS” en el valor concreto.

3.3.2.1 Obtener dato actual sobre un valor

Para obtener datos sobre una determinado valor, y una vez creada la conexión con el servicio, se utiliza la función *getdata()* que puede recibir distintos parámetros.

```
[d,sec] = getdata(c,s,f)
[d,sec] = getdata(c,s,f,o,ov)
[d,sec] = getdata(c,s,f,o,ov,Name,Value)
```

Donde:

- c: conexión Bloomberg
- s: valores solicitados
- f: campos a obtener para cada uno de los valores
- o, ov: filtra resultado obteniendo solo aquellos con campo “o” = “ov”
- Name, Value: condición name=value en la consulta

Por ejemplo, la consulta que solicita el último precio de apertura y de cierre de las acciones de Microsoft® sería del siguiente modo:

```
sec = 'MSFT US Equity';
fields = {'LAST_PRICE';'OPEN'};

[d,sec] = getdata(c,sec,fields)
d =
    LAST_PRICE: 36.95
      OPEN: 36.94

sec =
    MSFT US Equity
```

3.3.3 Obtener valores históricos

Bloomberg® dispone también de una gran base de datos con información histórica sobre múltiples valores, que puede ser consultada de forma recurrente, para obtener, entre otros, evoluciones del mercado, gráficos históricos, tendencias, etc.

A través de MATLAB se puede acceder a esta información para, por ejemplo, no solo obtener el último precio para un determinado activo sino, obtener también cuáles han sido los precios de cierre en el último año. Para ello se dispone de la función *history()* que puede recibir como entrada distintos parámetros.

```
[d,sec] = history(c,s,f,fromdate,todate)
[d,sec] = history(c,s,f,fromdate,todate,period)
[d,sec] = history(c,s,f,fromdate,todate,period,currency)
[d,sec] = history(c,s,f,fromdate,todate,period,currency,Name,Value)
```

Donde:

c: conexión Bloomberg
s: valores solicitados
f: campos a obtener para cada uno de los valores
fromdate: fecha de inicio a partir de la que obtener los datos
todate: fecha final hasta la que obtener los datos
period: periodicidad de los datos (si se omite diaria)
currency: moneda en la que devolver los valores
Name, Value: condición name=value en la consulta

Por ejemplo, y siguiendo con el valor anterior, para obtener el precio de apertura y de cierre mensual de las acciones de Microsoft® en el último año, se deberá realizar la siguiente consulta en MATLAB.

```
[d,sec] = history(c, 'MSFT US Equity','LAST_PRICE; OPEN',...
    '01/01/2014','31/12/2014' , monthly)
d =
    735630,00    46.45    47.88
    735658,00    47.81    46.89
    735689,00    46.95    46.27
    735719,00    46.36    45.43
    735750,00    45.43    43.21
    735780,00    43.16    41.86
    735811,00    41.70    40.95
    735842,00    40.94    40.24
    735872,00    40.40    41.15
    735903,00    40.99    37.92
    735933,00    38.31    37.74
    735964,00    37.84    37.35
sec =
    'MSFT US Equity'
```

Dado el resultado obtenido, conviene recordar que las fechas numéricas en MATLAB cuentan los días a partir del 1 de enero de 0000. En consecuencia, si se desea obtener el valor numérico contando días a partir del 1 de enero de 1900 (como es el caso de las fechas en Excel) se deberá restar 693960 al resultado.

3.4 MATLAB para Microsoft Excel

Spreadsheet Link™ EX [86] es el complemento que habilita la conexión entre Excel y el área de trabajo de MATLAB. Permite acceder a su entorno desde cualquier hoja de Excel pudiendo intercambiar datos entre ambas aplicaciones. Ofrece, entre otras, la ventaja de poder usar la interfaz de Excel para representar y trabajar con matrices de forma visual que luego pueden ser enviadas a MATLAB o viceversa (pudiendo visualizar los resultados de los programas desarrollados, en un entorno más amigable).

Para usarlo, simplemente es necesario instalar y configurar el complemento en Microsoft Excel®. Una vez se haya hecho, cada vez que Excel sea inicializado Spreadsheet Link™ EX y MATLAB arrancarán de forma automática. A través de la pestaña de “Complementos” se puede de forma gráfica e intuitiva iniciar la conexión, obtener datos del entorno de trabajo de MATLAB o cargarlos en el mismo. Así mismo existen determinadas fórmulas y funciones que permiten realizar peticiones desde Excel a MATLAB, ya sea desde el propio libro o a través de otras macros desarrolladas con **Visual Basic** (por ejemplo que llamen a una función específica).

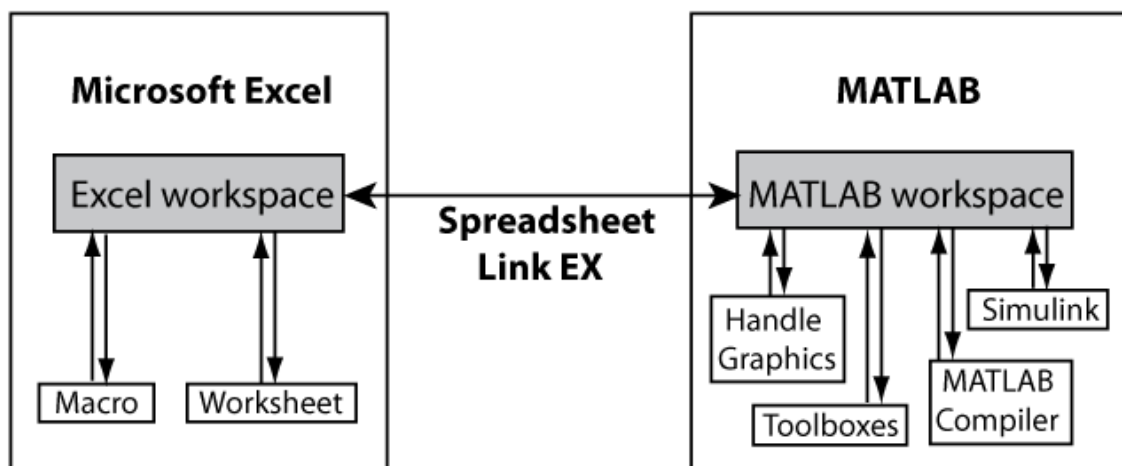


Ilustración 30: conexión a través del complemento Spreadsheet Link Ex

Sin embargo, también es posible establecer la conexión entre ambas aplicaciones en el otro sentido (es decir, desde MATLAB a Excel). A continuación se detallan algunas funciones que permiten desde MATLAB crear, importar y guardar datos a una hoja en Microsoft Excel®.

3.4.1 Crear fichero Excel desde MATLAB

Para crear un fichero Excel es necesario, en primer lugar, abrir la conexión con un **COM Automation Server** (en este caso Microsoft Excel®) que permita a MATLAB funcionar como un cliente COM [87].

```
Excel = actxserver ('Excel.Application');
```

Esta función devuelve un objeto servidor que contiene funciones implícitas con las que acceder a sus propiedades. Entre ellas se puede modificar una propiedad que evita abrir el Excel físicamente (en pantalla) evitando que moleste al usuario (el proceso de creación y modificación debe ser transparente para el mismo).

Para ello basta con escribir la siguiente línea:

```
Excel.Visible = 1;
```

A continuación, y a través del flujo de un pequeño programa ejemplo, se detallan algunas funciones de este objeto que permiten desde crear un fichero, abrirlo, modificarlo o guardarlo:

```
ExcelWorkbook=Excel.Workbooks.Add; %crea libro excel
ExcelWorkbook.SaveAs('aa.xls'); %guarda el libro con el nombre 'aa.xls'
ExcelWorkbook.Close(false); %cierra el libro
ExcelWorkbook=Excel.workbooks.Open('aa.xls'); %abre el libro excel 'aa.xls'
Sheets = Excel.ActiveWorkBook.Sheets; %obtiene hojas del libro abierto
sheet2 = get(Sheets, 'Item',2); % objeto que almacena segunda hoja del libro
invoke(sheet2, 'Activate'); %activa segunda hoja del libro
ActiveSheet = Excel.ActiveSheet(); %almacena la hoja activa
ActiveSheetRange = get(ActiveSheet,'Range','J20'); %selecciona celda J20
ActiveSheetRange.Select; % activa celda seleccionada
ExcelWorkbook.Save; %guarda cambios realizados en el libro excel
ExcelWorkbook.Close(false); %cierra el libro
invoke(Excel, 'Quit'); %elimina el proceso del sistema
delete(Excel); %elimina el servidor creado para la conexión
```

3.4.2 Exportar datos desde MATLAB

MATLAB permite exportar datos a Excel sin necesidad de hacerlo a través de este último [88]. Para ello, existen diferentes formas de hacerlo, que varían en función de la naturaleza de los datos. A continuación se explican dos de las formas más utilizadas empleadas para representar matrices y gráficas.

3.4.2.1 Representar matrices en Excel

La función `xlswrite()` permite escribir de forma directa en un fichero Excel los valores de una matriz determinada. Para ello, puede recibir como parámetros los siguientes:

```
[status,message]=xlswrite(filename,A)
[status,message]=xlswrite(filename,A,sheet)
[status,message]=xlswrite(filename,A,xlRange)
[status,message]=xlswrite(filename,A,sheet,xlRange)
```

Donde:

Filename: nombre del fichero Excel
A: matriz A a escribir en el fichero
Sheet: escribe la matriz en la hoja especificada
xlRange: rango de la hoja donde empezar a escribir

Esta función devuelve, por un lado, el estado de la operación de escritura, siendo 1 en caso de éxito y 0 en caso contrario. Así mismo, devuelve cualquier advertencia o mensaje de error generado durante dicha operación.

Del mismo modo, MATLAB también puede leer de la misma a través de la función *xlsread()*. Los parámetros que puede recibir como entrada son los siguientes:

```
[num,txt,row]=xlsread(filename)
[num,txt,row]xlsread (filename,sheet)
[num,txt,row]=xlsread (filename,xlRange)
[num,txt,row]xlsread (filename,sheet,xlRange)
```

Donde:

Filename: nombre del fichero Excel a leer
Sheet: lee la hoja especificada
xlRange: rango de la hoja donde empezar a leer

Esta función devuelve los datos leídos en forma numérica (devolviendo NaN en caso de texto o celdas vacías), los datos leídos en formato texto (devolviendo ' ' en caso de número o celdas vacías) y los datos leídos combinando datos numéricos y cadenas de caracteres.

3.4.2.2 Representar figuras en Excel.

Una de las formas de representar figuras MATLAB en Excel® es, como se haría de forma manual, copiando y pegando la figura creada en el libro u hoja correspondiente. Para ello, es importante crear la figura (por ejemplo mediante la función *plot()*) y una vez hecho esto copiarla en el portapapeles. De este modo, exportar la imagen a Excel no es más que copiar la misma a través del objeto Libro creado. Un ejemplo de esta operativa sería la siguiente:

```
plot(x,y); %dibujamos grafica x,y.
xlabel('Eje X'); %nombre eje X
ylabel('Eje Y'); %nombre eje Y
print -dmeta; %copiamos figura en el portapapeles

excelWorkbook = Excel.workbooks.Open('grafica.xls'); %abrimos Excel
Sheets = Excel.ActiveWorkBook.Sheets;
ActiveSheet = Excel.ActiveSheet(); %seleccionamos hoja
ActiveSheetRange = get(ActiveSheet,'Range','B2');
ActiveSheetRange.Select; %seleccionamos rango
ActiveSheetRange.PasteSpecial; %pegamos figura
excelWorkbook.Save; %guardamos figura
```


4 Sistema desarrollado

A continuación, se detalla el sistema que ha sido necesario implementar para llevar a cabo la investigación. Para ello, se comienza definiendo el mismo desde un punto de vista analítico, indicando cuáles son los problemas que debe abordar el sistema y con qué finalidad. Por otro lado, se realiza una descripción basándose en su diseño, centrándose en la arquitectura y módulos creados para su correcto funcionamiento.

4.1 Análisis del sistema

En este apartado se detallan las principales especificaciones del sistema desarrollado, centrándose en qué es lo que debe hacer el mismo y para qué. Dado que este proyecto está basado en la investigación y no en el desarrollo de un producto, este análisis se hará a groso modo con el fin de crear una visión general acerca del software utilizado. Puesto que no existen unos requisitos previos, simplemente se diseña en función del curso de la investigación, no se va a exponer en este documento nada relacionado con requisitos y casos de uso.

4.1.1 Definición del sistema

El primer paso de todo análisis consiste en la descripción del sistema que se va a desarrollar. Se debe determinar cuál es el alcance del mismo, identificando el problema que resuelve, cuál va a ser el entorno de uso y cuáles las restricciones a las que está sometido.

4.1.1.1 Alcance del sistema

El sistema software desarrollado permite representar Curvas Cupón Cero mediante el método de estimación *Bootstrapping* y usando diversas técnicas de aproximación (mediante interpolaciones o Redes Neuronales Artificiales). Así mismo, es capaz de realizar predicciones sobre futuros valores de Renta Fija indicando, para una fecha determinada, si se espera una subida o bajada de los mismos.

Dado el carácter de la investigación, en la cual se desea probar distintas alternativas para encontrar mejores soluciones, ha sido necesario desarrollar una interfaz que permita, de forma rápida, seleccionar alguna de las distintas alternativas de diseño. En particular, el sistema desarrollado ofrece la opción de escoger entre las siguientes alternativas:

- **Para el diseño de la Curva Cupón Cero:**
 - Fecha de construcción de la Curva Cupón Cero.
 - Método de aproximación a utilizar en la curva.
 - Uso de futuros sobre el Euribor para suavizar la curva.
 - Exportar datos a una fichero Excel.
- **Para la predicción de valores:**
 - Bono sobre el que realizar la predicción.
 - Fecha de la predicción.

4.1.1.2 Restricciones del sistema

A continuación se detallan las restricciones impuestas al sistema con el fin último de centrar y concretar los resultados obtenidos del mismo:

- El sistema solo permitirá crear Curvas Cupón Cero para el Euro ya que el análisis que se desea realizar es sobre esta divisa.
- Se usará el proveedor de servicios Bloomberg® como fuente de datos debido a su fiabilidad y uso extendido en las principales entidades financieras.
- Los valores a predecir por el sistema deberán ser de Renta Fija (es el objeto de la investigación) debiendo indicar el **ISIN** del mismo para su correcta identificación.
- Las predicciones de valores se harán, únicamente, para valores de Renta Fija denominados en Euros.
- El software estará programado en MATLAB, ya que se trata de una herramienta ampliamente utilizada y que permite su integración con múltiples aplicaciones financieras (por ejemplo, Bloomberg®).
- El sistema permitirá la exportación de resultados, únicamente, a Microsoft Excel® por considerarse una herramienta muy útil para el tratamiento y análisis de los mismos.
- La interfaz de usuario permitirá seleccionar opciones de diseño, favoreciendo la investigación rápida de diversas alternativas.
- Solo se podrán obtener curvas para fechas menores o iguales a $t-1$, dado que los datos de cierre en Bloomberg® para un día t no están disponibles hasta el cierre de los mercados.
- Las predicciones de valores se podrán hacer para cualquier fecha teniendo en cuenta que a horizontes temporales mayores, peores serán las mismas.

4.1.1.3 Entorno operacional

En este apartado se especifica cuáles son los requisitos que debe cumplir el dispositivo en el que se ejecute el sistema.

- Debe ser un terminal Bloomberg® que permita la conexión con el servidor para la obtención de precios de mercado (tanto para la construcción de la curva como para la predicción de valores).
- Debe tener instalada, como mínimo, la versión r2012 de MATLAB, así como los complementos *Neural Network Toolbox* y *Financial Toolbox*.
- Debe disponer de Microsoft Excel® con el complemento MATLAB habilitado para permitir al sistema la exportación de datos a este entorno.

Dado el entorno operacional en el que el sistema debe ser desarrollado, este ha sido enfocado, principalmente, a entidades financieras que disponen de máquinas con todos estos recursos y que pueden dar utilidad práctica a los resultados obtenidos. El uso personal del mismo se ve restringido dada la imposibilidad de encontrar algunos de los datos necesarios para el cálculo (como los precios de los IRS).

4.2 Diseño del sistema

Una vez definido el problema a investigar, el segundo paso consiste en decidir cómo se va a hacer. Para ello, se debe definir cuál va a ser la arquitectura del sistema, las herramientas a utilizar y los módulos necesarios para su implementación.

A continuación, se explica el estado final del sistema desarrollado, indicando todos los módulos que se han tenido que crear con el fin de obtener los resultados deseados.

4.2.1 Arquitectura del sistema

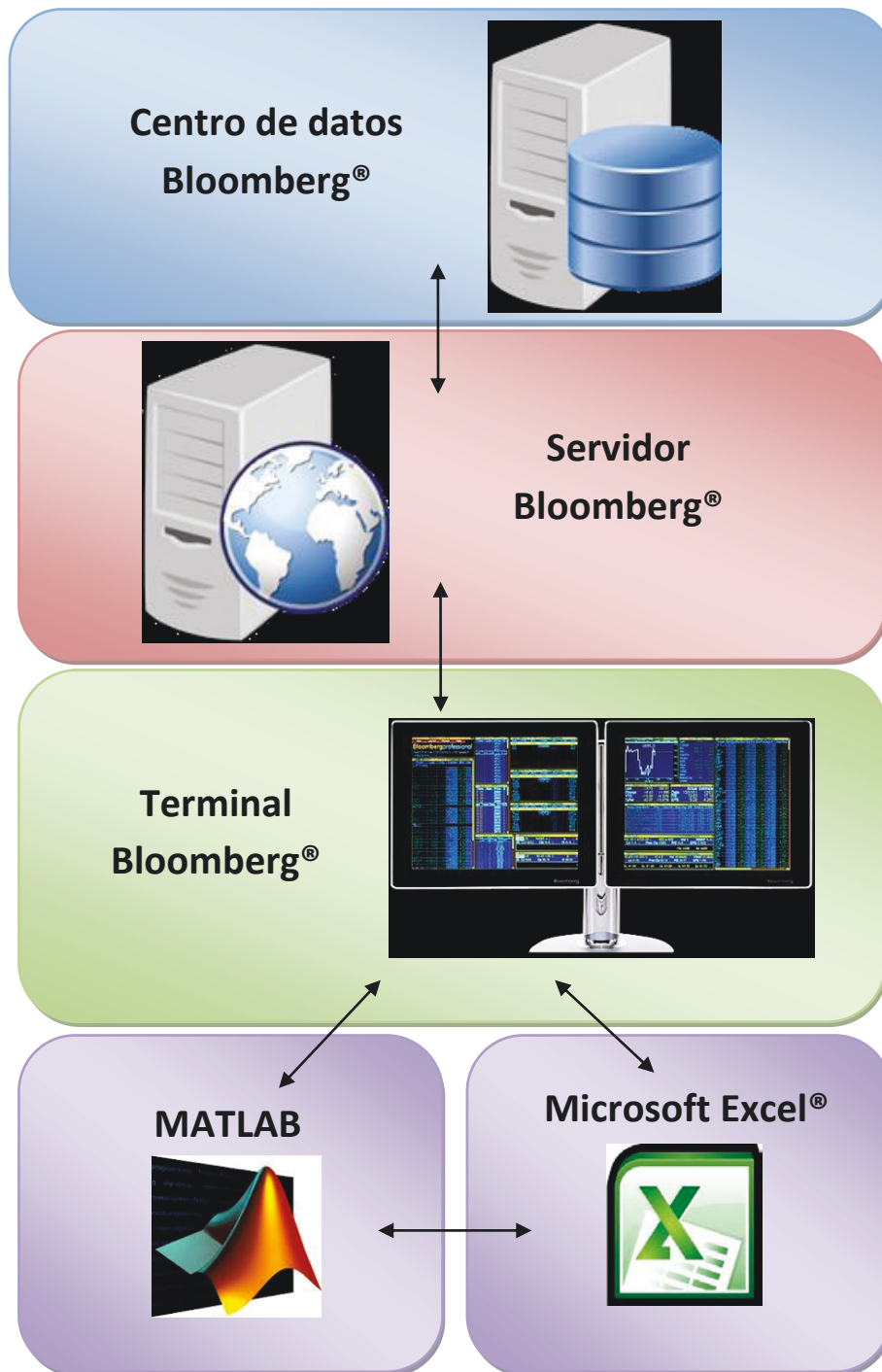


Ilustración 31: arquitectura sistema desarrollado

El sistema desarrollado se estructura, tal y como se observa en el esquema superior, en cuatro capas diferentes:

La primera de ellas, y de donde se obtienen los datos, es el **centro de datos Bloomberg®**. Este proveerá al sistema de toda la información relacionada con datos e instrumentos financieros. Se trata de la base de datos del sistema que permitirá obtener toda la información necesaria en tiempo de ejecución.

Para conectarse a este centro de datos, es necesario un **servidor** que permita la comunicación con el mismo. Este es, por tanto, la segunda capa del sistema, que permite la conexión a través de la red con el fin de poder descargar datos del centro de datos.

La tercera capa del sistema no es más que un **terminal Bloomberg®** que permite conectarse a toda la infraestructura de capas superiores. Implementa una **arquitectura cliente-servidor** por lo que este es el encargado de realizar las peticiones necesarias al servidor, que a su vez pide los datos al centro Bloomberg®. Se conecta a este a través de un router que provee Bloomberg® e instalado en la misma máquina. Este terminal, permite a los usuarios interactuar con el sistema a través de las aplicaciones de la última capa.

La última capa, puede ser dividida a su vez, en dos. Por un lado la **aplicación desarrollada en MATLAB**. Es la encargada de pedir datos a Bloomberg® en función de las indicaciones del usuario y mostrar los resultados después de realizar las funciones necesarias. Por otro lado, también se encuentra en esta última capa el software **Microsoft Excel®**. Se encarga, por un lado, de mostrar los resultados devueltos por el programa y, por otro, en caso de ser necesario, de realizar consultas, de forma directa, a la base de datos.

4.2.2 Subsistemas

A continuación se detallan cada uno de los subsistemas que forman parte de la arquitectura anteriormente mencionada:

4.2.2.1 Centro de datos Bloomberg®

Se trata de la base de datos que consultará el sistema. Aunque es mucha la información de la que dispone, el sistema solo accederá al mismo para obtener los siguientes datos:

- Tipo de interés **Eonia**
- Tipo de interés **Euribor** para 1 y 2 semanas y 1, 2, 3, 6, 9 y 12 meses para un rango de fechas.
- Precio de cotización de los **FRA** con plazos 1x7, 2x8, 3x9, 4x10, 5x11, 6x12, 7x13, 8x14, 9x15, 10x16, 11x17, 12x18.
- Precio de cotización de los **IRS** para plazos desde 1 hasta 30 años.
- Histórico de precios para un activo de Renta Fija, localizándolo a través de su **ISIN**.
- Fecha de vencimiento para un activo de Renta Fija, localizándolo a través de su **ISIN**.

4.2.2.2 Servidor Bloomberg®

Es la parte encargada de recibir peticiones del terminal Bloomberg® y responderlas mediante consultas a la base de datos.

Aunque son pocos los detalles que se conocen sobre su estructura, se trata de un servidor que corre sobre una plataforma **Unix** y, aunque inicialmente fue desarrollado en *Fortran* y *C*, en los últimos años, está siendo migrado hacia **C++** y **JavaScript**.

4.2.2.3 Teminal Bloomberg®

Se trata de un dispositivo Windows con una aplicación propia que permite conectarse a los servidores Bloomberg® de forma segura mediante una conexión **VPN** propia. Se trata de un ordenador normal (que permite, por tanto, instalar y ejecutar otras aplicaciones) pero que tiene la particularidad de tener instalado un software propio de Bloomberg® con acceso a información y análisis al instante del mercado de valores.

4.2.2.4 Microsoft Excel®

Esta aplicación distribuida por Microsoft Office ha sido instalada en el terminal anteriormente mencionado para facilitar las tareas de tratamiento de datos. Tiene instalado dos complementos que permiten la comunicación de forma directa con dos software: MATLAB y Bloomberg®.

En este sistema, se ha utilizado, únicamente, como depósito de resultados (creando libros donde almacenar datos y curvas obtenidas). Podría haberse utilizado para comunicarse directamente con el servidor (evitando el uso de MATLAB) pero su capacidad de cómputo respecto al tratamiento de datos es mucho menor.

4.2.2.5 MATLAB

Se trata del componente principal del sistema. Implementa toda la funcionalidad del mismo, recurriendo al resto de subsistemas para realizar sus operaciones. Su funcionalidad puede dividirse en dos partes:

- **Construcción de la Curva Cupón Cero:** la aplicación dibuja la CCC a la fecha indicada por el usuario. Para ello, en primer lugar, obtiene el precio de todos los *inputs* necesarios a esa fecha (realizando la petición al servidor Bloomberg®). A continuación realiza el tratamiento de los datos recibidos, calculando **factores de descuento** y aplicando el método *Bootstrapping* a aquellos valores que no representen puntos de la curva en sí mismos (es decir, a los IRS). Finalmente, dibuja la curva aproximando todos los valores obtenidos mediante el método indicado por el usuario. Esta se representa por pantalla junto con todos los errores cometidos ofreciendo, además, la posibilidad de exportar los datos a Excel (con el fin de poder almacenarlos).
- **Predicción de precios de Renta Fija:** predice el valor futuro de un activo de Renta Fija denominado en Euros. Para ello, obtiene la rentabilidad del bono durante los últimos tres meses, así como su fecha de vencimiento, a través de Bloomberg® (el usuario debe introducir su **ISIN** para poder identificarlo) además del tipo de los *inputs* de la CCC para ese mismo periodo. Dibuja la curva a un día para todas esas

fechas (haciendo uso de la sección anterior) calculando la prima de riesgo del activo, es decir, la diferencia existente entre la rentabilidad del activo y el punto de la curva para el mismo plazo (igual al tiempo que queda hasta el vencimiento del bono). En función de estos predice la diferencia para el día $d+1$ indicando, en consecuencia, si se espera que el precio del activo suba (la diferencia entre ambos puntos disminuye) o, por el contrario baje (la prima de riesgo suba).

A continuación se explican cada uno de los módulos implementado en MATLAB, indicando parámetros recibidos, funcionamiento y resultado. Así mismo, se informa sobre cómo se relacionan cada uno de ellos (entre sí y con otros subsistemas) finalizando con un ejemplo de uso que permita entender, correctamente, el funcionamiento.

4.2.2.5.1 Módulos implementados

Construcción curva eur.m: *se encarga de construir la CCC para la fecha indicada llamando a los módulos que sean necesarios. Usa como inputs de la curva el Euribor y los Swaps a distintos plazos.*

Inputs:

metodo: indica el método que se utilizará en la aproximación.

fecha: para la que se desea diseñar la curva.

Funcionamiento:

1.- Define variables sobre los *inputs* de la curva. En particular inicializa los plazos de cada uno de los activos, **base de cálculo**, periodicidad pago tipo fijo, periodicidad pago tipo variable y tiempo necesario hasta la liquidación del valor.

2.-Obtiene los datos de Bloomberg® sobre el tipo Eonia, Euribor a 1 y 2 semanas, Euribor a 1, 2, 3, 6, 8 y 12 meses y precios de los IRS con vencimiento entre 1 y 30 años a la fecha indicada.

3.- Llama al módulo encargado de obtener los tipos cupón cero para cada uno de los valores de entrada y que permitirán construir la curva.

4.- Aplica el método de aproximación seleccionado para obtener más puntos de la curva que, finalmente, permitan dibujarla. Los métodos que permite aplicar son:

- Interpolación Lineal
- Interpolación Exponencial
- Red Neuronal de Base Radial
- Red Neuronal multicapa *FeedFoward*

Salida:

plazosInit: plazos de cada uno de los valores iniciales (Eonia, Euribor e IRS) expresados en meses.

totalPlazos: cada uno de los puntos (expresados en meses) sobre los que se han obtenido puntos de la curva tras la aproximación.

rates: tipos cupón cero para cada uno de los plazos indicados en totalPlazos.

Construcción curva eur fw.m: *se encarga de construir la CCC para la fecha indicada llamando a los módulos que sean necesarios. Usa como inputs de la curva datos del Euribor, FRA y Swaps a distintos plazos.*

Inputs:

metodo: indica el método que se utilizará en la aproximación.

fecha: para la que se desea diseñar la curva.

Funcionamiento:

1.- Define variables sobre los *inputs* de la curva. En particular inicializa plazos de cada uno de los activos, **base de cálculo**, periodicidad pago tipo fijo, periodicidad pago tipo variable y tiempo necesario hasta completar operación.

2.-Obtiene los datos de Bloomberg® sobre el tipo Eonia, Euribor a 1 y 2 semanas, Euribor a 1, 2, 3 y 6 meses, precios de los FRA 1x7, 2x8, 3x9, 4x10, 5x11, 6x12, 7x13, 8x14, 9x15, 10x16, 11x17 y 12x18 y precios de los IRS con vencimiento entre 1 y 30 años a la fecha indicada.

3.- Llama al módulo encargado de obtener los tipos cupón cero para cada uno de los valores de entrada y que permitirán construir la curva.

4.- Aplica el método de aproximación seleccionado para obtener más puntos de la curva que, finalmente, permitan dibujarla. Los métodos que permite aplicar son:

- Interpolación Lineal
- Interpolación Exponencial
- Red Neuronal de Base Radial
- Red Neuronal multicapa *FeedFoward*

Salida:

plazosInit: plazos de cada uno de los valores iniciales (expresados en meses).

totalPlazos: cada uno de los puntos (expresados en meses) sobre los que se han obtenido puntos de la curva tras la aproximación.

rates: tipos cupón cero para cada uno de los plazos indicados en total_plazos.

obtener_datos_bb.m: *conecta con el servidor Bloomberg® y le solicita los datos necesarios. Este módulo está a su vez compuesto por dos funciones distintas que permiten realizar dos tipos de consultas:*

Inputs:

obtenerPrecios():

id: matriz formada por los identificadores de los valores sobre los que se desea realizar la consulta (**ticker**).

fechaInicio: fecha de inicio histórico.

fechaFin: fecha final de los datos (como mucho puede ser igual al día actual).

obtenerDatosBono():

id: ISIN del bono sobre el que realizar la consulta.

fecha: sobre la que se quiere predecir (como mucho puede ser igual al día actual).

Funcionamiento:

obtenerPrecios(): esta función se conecta al servidor Bloomberg® y realiza una consulta histórica sobre los precios del valor dado por la variable “id” para el rango de fechas indicado (fechaFin- fechaInicio).

obtenerDatosBono(): se conecta a Bloomberg® para obtener la fecha de vencimiento del valor de Renta Fija con **ISIN** igual a la variable “id”. Además, realiza una consulta histórica sobre las rentabilidades de ese activo en los últimos tres meses a contar desde “fecha”.

Salida:

obtenerPrecios():

id: identificador del valor.

resultado: matriz donde la primera columna corresponde a las fechas pedidas y la segunda al precio del activo en ese día.

obtenerDatosBono():

id: identificador del valor.

fechaVenc: fecha de vencimiento del bono.

resultado: matriz donde la primera columna corresponde a las fechas pedidas y la segunda a la rentabilidad del activo en ese día.

bootstrapping.m: *calcula el valor cupón cero de los inputs recibidos, aplicando el método Bootstrapping en los casos en los que sea necesario.*

Inputs:

rates: tipos obtenidos de Bloomberg® para cada uno de los valores de entrada de la curva.

fecha: fecha para la que se desea construir la curva (y que será tomada como día actual).

plazos: fecha de vencimiento para cada uno de los valores de entrada (expresados en meses).

base: base de cálculo para cada uno de los valores. Se expresa como un entero que permite a MATLAB entender el mismo. Algunos de estos son:

- 0 = actual/actual (default)
- 1 = 30/360 (SIA)
- 2 = actual/360
- 3 = actual/365
- 13 = BUS/252

floatingterm: plazo de pago pata variable (para el caso de los IRS).

fixedterm: plazo de pago pata fija (para el caso de los IRS).

valuedate: tiempo hasta liquidación de la operación. Todas las operaciones de Renta Fija liquidan en D+2, es decir, dos días hábiles después del cruce de la operación en mercado.

Funcionamiento:

1.- Se dividen los datos en función de su naturaleza, cuáles ya son cupón cero (Euribor y Eonia) y cuáles deben ser transformados (IRS).

2.- Para el Eonia, se indica día de comienzo como el día actual (el indicado por “fecha”) y día de vencimiento como el primer día no festivo posterior a “fecha”.

3.- Para los tipos Euribor, el día de comienzo será igual a la fecha actual más dos, es decir, son necesarios dos días para que la orden sea efectiva en el mercado (al tipo en “fecha”). El día de vencimiento es igual al plazo de cada uno de los tipos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- En el caso de que la fecha de vencimiento sea festiva, se indicará como fecha el primer día no festivo tras este.
- Se controlará la siguiente excepción: para las cuotas mayores o iguales a un mes si el día siguiente al de vencimiento pertenece a otro mes, se pondrá el primer día no festivo anterior a la fecha de vencimiento.

4.- Para los IRS, el día de comienzo será igual a la fecha actual más dos, es decir, son necesarios dos días para que la orden sea efectiva en el mercado (al tipo en “fecha”). El día de vencimiento es igual al plazo de cada uno de los tipos, teniendo en cuenta que si es festivo, se indicará como fecha de vencimiento el primer día no festivo tras este.

5.- Se almacena el valor α (duración en años) para cada uno de los valores teniendo en cuenta que el Euribor tiene como **base de cálculo** actual/360 y los IRS 30/360.

$$\alpha = (\text{fecha Vencimiento} - \text{fecha inicio}) * \text{Base Calculo}$$

Ecuación 14: duración en años de un valor

6.- Calculamos factores de descuento y tipo CC para cada uno de los valores Eonia y Euribor teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$FD = \frac{1}{(1 + t \cdot i * \alpha)}$$

Ecuación 15: factor de descuento tipo CC

$$\text{rate CC}_t = \frac{1}{FD_t}^{365/t} - 1$$

Ecuación 16: tipo Cupón Cero de un Euribor

Donde:

$$t = \text{fecha}_{\text{vencimiento}} - \text{fecha}_{\text{inicio}}$$

7.- Realizamos *Bootstrapping* para cada uno de los IRS, a excepción del primero, calculando factor de descuento y tipo. El IRS a 1 año será igual al Euribor a 12 meses. Para el resto, en cada plazo t (desde 2 años hasta 30), se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$FD_t = \frac{1 - t \cdot i * x}{1 + t \cdot i * \alpha_{t-1}^t}$$

Ecuación 17: factor de descuento Swap (Bootstrapping)

Donde:

$$x = x + FD_{t-1} * \alpha_{t-2}^{t-1}$$

$$\alpha_x^y = (y - x) * \text{base calculo}$$

$$\text{rate CC}_t = \frac{1}{FD_t}^{360/t} - 1$$

Ecuación 18: tipo Cupón Cero IRS

Donde:

$$t = \text{fecha}_{\text{vencimiento}} - \text{fecha}_{\text{inicio}}$$

Salida:

fechasVenc: fechas de vencimiento para cada uno de los activos. Indica cada uno de los puntos para los que se ha calcula el tipo cupón cero.

rates: tipo cupón cero para cada uno de los valores de entrada

factorDescuento: factor de descuento para cada uno de los valores de entrada.

fechaInicio: día de comienzo para cada uno de los valores de entrada. Para el primero será igual a la fecha de inicio, para el resto, dos días después a la fecha indicada.

bootstrapping fw.m: *calcula el valor cupón cero de los inputs recibidos, aplicando el método Bootstrapping en los casos en los que sea necesario.*

Inputs:

rates: tipos obtenidos de Bloomberg® para cada uno de los valores de entrada de la curva.

fecha: fecha para la que se desea construir la curva (y que será tomada como día actual).

plazos: fecha de vencimiento para cada uno de los valores de entrada (expresados en meses).

base: base de cálculo para cada uno de los valores de entrada. Se expresa como un entero que permite a MATLAB entender el mismo. Algunos de estos son:

- 0 = actual/actual (default)
- 1 = 30/360 (SIA)
- 2 = actual/360
- 3 = actual/365
- 13 = BUS/252

floatingterm: plazo de pago pata variable (para el caso de los IRS). Toma el valor 1 en el caso de los FRA (para poder diferenciarlos del Euribor).

fixedterm: plazo de pago pata fija (para el caso de los IRS). Toma el valor 1 en el caso de los FRA (para poder diferenciarlos del Euribor).

valuedate: tiempo hasta liquidación de la operación. Todas las operaciones de Renta Fija liquidan en D+2, es decir, dos días hábiles después del cruce de la operación en mercado. En el caso de los futuros indica cuando se haría efectiva la operación (por ejemplo, un FRA 3x8 se hará efectivo dentro de 3 meses)

Funcionamiento:

1.- Se dividen los datos en función de su naturaleza, cuáles ya son cupón cero (Euribor y Eonia), cuáles deben transformarse (FRA) y sobre cuáles se debe aplicar *Bootstrapping* (IRS).

2.- Para el Eonia, se indica día de comienzo como el día actual (el indicado por fecha) y día de vencimiento como el primer día no festivo posterior a fecha.

3.- Para los tipos Euribor, el día de comienzo será igual a la fecha actual más dos, es decir, son necesarios dos días para que la orden sea efectiva en el mercado (al tipo en "fecha"). El día vencimiento es igual al plazo de cada uno de los tipos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- En el caso de que la fecha de vencimiento sea festiva, se indicará como fecha el primer día no festivo tras este.
- Se controlará la siguiente excepción: para las cuotas mayores o iguales a un mes si el día siguiente al de vencimiento pertenece a otro mes, se pondrá el primer día no festivo anterior a la fecha de vencimiento.

4.- Para los FRA, el día de comienzo será igual a la fecha actual más el número de meses que faltan hasta que se haga efectivo (por ejemplo, un FRA 3x8 se iniciará dentro de 3 meses a contar desde la fecha actual). El día de vencimiento es igual al plazo de cada uno de los tipos, más el tiempo que queda hasta su inicio (por ejemplo, un FRA 3x8 madurará dentro de 11 meses). Si es festivo, se indicará como fecha de vencimiento el primer día no festivo tras este.

5.- Para los IRS, el día de comienzo será igual a la fecha actual más dos, es decir, son necesarios dos días para que la orden sea efectiva en el mercado (al tipo en "fecha"). El día de vencimiento es igual al plazo de cada uno de los tipos, teniendo en cuenta que si es festivo, se indicará como fecha de vencimiento el primer día no festivo tras este.

6.- Se almacena el valor α (duración en años) para cada uno de los valores teniendo en cuenta que el Euribor tiene como base de cálculo actual/360 y los FRA e IRS 30/360.

$$\alpha = (\text{fecha Vencimiento} - \text{fecha inicio}) * \text{Base Calculo}$$

Ecuación 19: duración en años de un valor

7.- Calculamos factores de descuento para cada uno de los valores Eonia, Euribor y Forward teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$FD = \frac{1}{(1 + t \cdot i * \alpha)}$$

Ecuación 20: factor de descuento tipo CC

8.- Calculamos tipo cupón cero para cada uno de los valores Euribor y para el tipo Eonia:

$$\text{rate } CC_t = \frac{1}{FD_t}^{365/t} - 1$$

Ecuación 21: tipo Cupón Cero de Euribor

Donde:

$$t = \text{fecha}_{\text{vencimiento}} - \text{fecha}_{\text{inicio}}$$

8.- Calculamos tipo cupón cero implícito en los tipos Forward a partir de la siguiente fórmula

$$FD_Y = FD_X^Y * FD_X$$

Donde: $x < y$

Ecuación 22: factor de descuento implícito FRA

$$rate CC_t = \frac{1}{FD_Y^{360/t}} - 1$$

Ecuación 23: tipo Cupón Cero FRA

Donde:

$$t = fecha_{vencimiento} - fecha_{inicio}$$

9.- Realizamos *Bootstrapping* para cada uno de los IRS, en cada plazo t (desde 2 años hasta 30), se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$FD_t = \frac{1 - t \cdot i \cdot x}{1 + t \cdot i \cdot \alpha_{t-1}^t}$$

Ecuación 24: factor de descuento Swap (Bootstrapping)

Donde:

$$x = x + FD_{t-1} * \alpha_{t-2}^{t-1}$$

$$\alpha_x^y = (y - x) * base\ calculo$$

$$rate CC_t = \frac{1}{FD_t^{360/t}} - 1$$

Ecuación 25: tipo Cupón Cero IRS

Donde:

$$t = fecha_{vencimiento} - fecha_{inicio}$$

10.- Se elimina del resultado el tipo obtenido del FRA 6x12 (es igual al Euribor 12M), y los resultados obtenidos de los FRA 4x10, 5x11, 10x16, 11x17 (al no disponer del tipo Euribor a 4 y 5 meses no se puede obtener su tipo cupón cero con las formulas comentadas).

Salida:

fechasVenc: fechas de vencimiento para cada uno de los activos. Indica cada uno de los puntos para los que se ha calcula el tipo cupón cero.

rates: tipo cupón cero para cada uno de los valores de entrada.

factorDescuento: factor de descuento para cada uno de los valores de entrada.

fechalnicio: día de comienzo para cada uno de los valores de entrada. Para el primero será igual a la fecha de inicio, para el resto, dos días después a la fecha indicada.

festivos.m: *devuelve días festivos mundiales.*

Inputs:

fecha: recibe fecha para la que se desea calcular festivos.

Funcionamiento:

Obtiene el año actual de la fecha indicada, el anterior y el posterior y calcula festivos sin bolsa para esos años (año nuevo, navidad, 26/12, día del trabajador y día de reyes)

Salida:

y: matriz de días sin negociación para tres años consecutivos

xlswrite.m: *escribe datos en un fichero Excel*

Inputs:

date: fecha del fichero.

destino: ruta donde guardar el fichero.

plazos: cada uno de los puntos (expresados en meses) sobre los que se han obtenido puntos de la curva.

rates: tipos cupón cero para cada uno de los plazos indicados en plazos.

hoja: nombre de la hoja Excel sobre la que escribir los datos.

Funcionamiento:

Crea un fichero Excel, en caso de que no exista, con nombre igual a la fecha de la curva. Abre el fichero y escribe en la hoja indicada dos columnas: una correspondiente a los meses y otra a los plazos. Finalmente guarda el fichero.

Salida:

filename: nombre del fichero modificado.

interpolacion.m: *utiliza el método de interpolación indicado (lineal o exponencial) para calcular nuevos puntos de la curva.*

Inputs:

totalPlazos: total de puntos sobre los que se desean obtener valores.

tabla: matriz formada por dos columnas; la primera con puntos sobre los que ya se tienen datos y la segunda con los valores sobre estos puntos.

exponencial: *true*, si se desea interpolación exponencial, *false* en caso contrario.

Funcionamiento:

1.- Ordena los datos de la matriz "tabla" en orden ascendente, es decir, de mayor a menor fecha.

2.- Para cada uno de los plazos indicados en “totalPlazos” se busca su inmediatamente superior e inferior de la matriz “tabla”, o en su defecto, sus dos valores anteriores o siguientes. Para ello, se comprueba, para cada uno de los nuevos puntos a calcular, si son mayores o iguales al último o menores o iguales al primero de la matriz.

2.1.- Si es menor a todas las fechas de la matriz “tabla”, los dos valores siguientes son el primero y el segundo de la matriz.

2.2.- Si es mayor a todas las fechas de la matriz, los dos valores siguientes son el último y el antepenúltimo de la matriz.

2.3.- Si es un valor intermedio, los siguientes serán el primero inmediatamente superior, y el primero inmediatamente inferior.

3.- A continuación se realiza la interpolación, calculando los nuevos puntos a partir de la siguiente fórmula:

3.1.- Interpolación lineal

$$y = tabla(inf, 2) + \frac{(tabla(sup, 2) - tabla(inf, 2)) * (x - tabla(inf, 1))}{(tabla(sup, 1) - tabla(inf, 1))}$$

Ecuación 26: interpolación lineal

3.2.- Interpolación exponencial

$$y = e^{(\ln(tabla(inf, 2)) + \frac{(\ln(tabla(sup, 2)) - \ln(tabla(inf, 2))) * (x - tabla(inf, 1))}{(tabla(sup, 1) - tabla(inf, 1))})}$$

Ecuación 27: interpolación exponencial

Donde:

x; punto sobre el que determinar valor y

tabla(inf,1) : punto inmediatamente inferior (o siguiente más pequeño o anterior más pequeño).

tabla(inf,2) : valor del punto inmediatamente inferior (o siguiente más pequeño o anterior más pequeño).

tabla(sup,1) : punto inmediatamente superior (siguiente mayor o anterior mayor)

tabla(sup,2) : valor del punto inmediatamente superior (siguiente mayor o anterior mayor).

Salida:

totalPuntos: matriz formada por dos columnas; la primera con los valores de entrada totalPlazos; la segunda con los valores calculados para cada uno de esos puntos.

prediccion.m: *predice si la prima de riesgo de un valor va a subir o bajar, emitiendo una recomendación de compra o venta.*

Inputs:

date: fecha sobre la que realizar la predicción

valor: **ISIN** del activo sobre el que realizar la predicción

Funcionamiento:

1.- Obtiene de Bloomberg® los datos del bono: fecha de vencimiento y rentabilidades de los últimos tres meses.

2.- Construye la CCC para fechas entre los tres meses anteriores y la fecha actual.

3.- Para cada una de las fechas obtenidas se hace lo siguiente (supongamos $t=0$ hasta $t=50$):

3.1.- Se obtiene el tiempo que falta hasta el vencimiento del bono (fecha de vencimiento- t)

3.2.- Se obtiene punto de la CCC en t para plazo igual al tiempo calculado en el punto 3.1.

3.3.- Se obtiene la diferencia (prima de riesgo) entre tipo del bono en t , y el tipo cupón cero extraído en el punto anterior.

4.- Se crea una red neuronal basada en series temporales (red NARX). Se enseña a la red con la prima de riesgo histórica del activo (calculada en el punto 3).

5.- Usando la red se predice si la prima de riesgo va a ser mayor o menor para fecha $t+1$. Si la predicción es a más de un día, se retroalimenta la red con el resultado para seguir prediciendo hasta alcanzar la fecha deseada.

6.- Si la prima de riesgo aumenta, vender (el precio del activo bajará), si disminuye, comprar.

Salida:

vender: 1, si se recomienda vender el activo, 0 si lo contrario.

4.2.2.5.2 Interfaz

La GUI desarrollada está compuesta por dos partes. La primera, la interfaz gráfica creada, y que está formada por dos secciones. Una encargada de crear Curvas Cupón Cero, y otra encargada de predecir valores de Renta Fija.

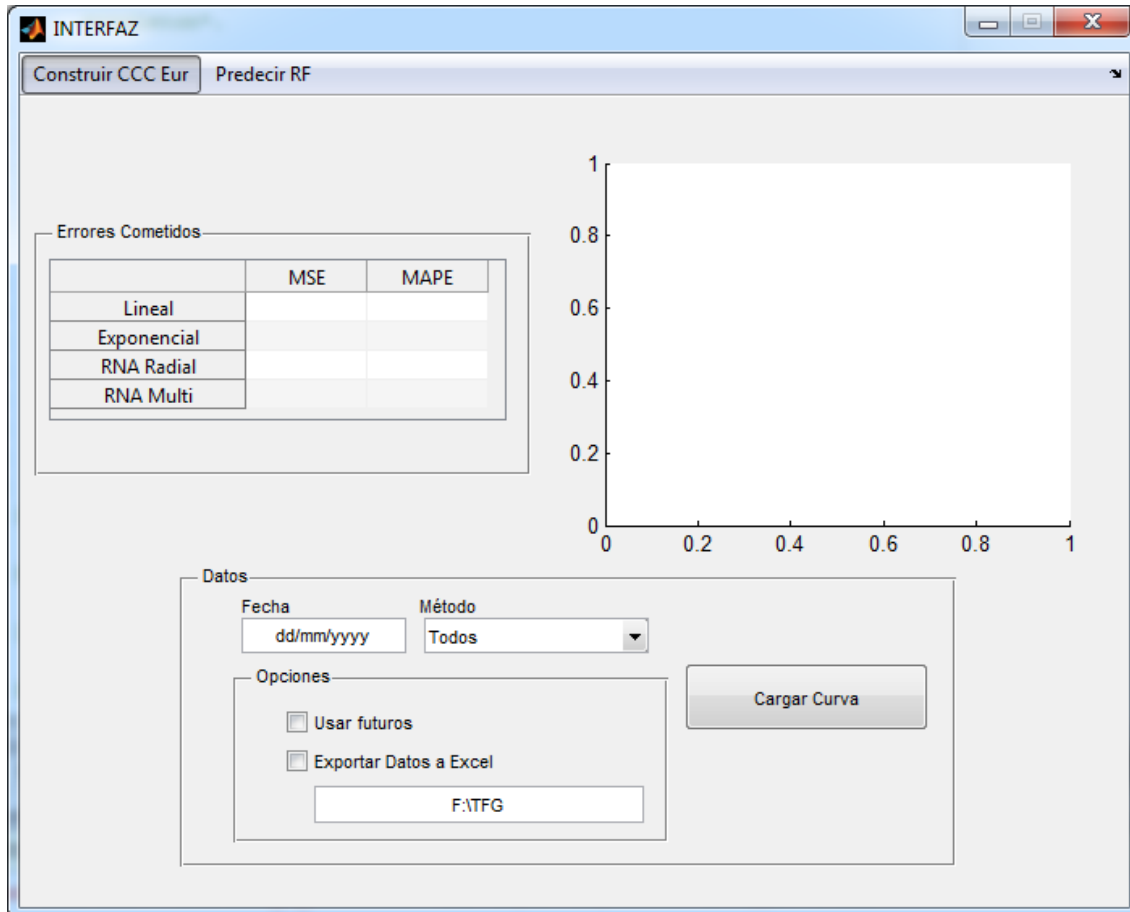


Ilustración 32: GUI para construcción de la curva

La interfaz encargada de construir la curva permite al usuario seleccionar las siguientes opciones:

- **Fecha** para la que se desea construir la curva.
- **Método** de aproximación a utilizar en el diseño. Pueden seleccionarse todos, con el fin de comparar las distintas curvas que se generan o, por el contrario solo uno.
- **Usar futuros** en la construcción de la curva, que permitan obtener líneas más suaves usando interpolación.
- **Exportar datos de la curva a Excel**, especificando la dirección de **destino** donde almacenar el fichero.

Además, tras cargar la curva, muestra los siguientes aspectos:

- **Errores** cometidos con cada uno de los métodos usados. Solo en el caso de seleccionar "Todos" en el listado de métodos, se podrá comparar los errores cometidos por cada uno de estos. En caso contrario, solo se mostrará el cometido por el método seleccionado.

- **Representación de la CCC** para la fecha indicada. Si se seleccionan varios métodos, se dibuja la CCC con cada uno de estos (sobrepuestas, permitiendo observar diferencias entre estas).

La segunda interfaz, encargada de predecir valores de Renta Fija permite al usuario lo siguiente:

- Indicar **fecha** sobre la que realizar la predicción. Por defecto, está señalado el día siguiente al actual.
- **ISIN** del bono sobre el que realizar la predicción.

Tras esta permite visualizar por pantalla la recomendación.



untitled

Construir CCC Eur Predecir RF

Seleccione fecha de la predicción

April 2015

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	1	2
3	4	5	6	7	8	9

ISIN Bono Renta Fija

XS0615986428

Predecir

El resultado de la predicción es:

Se predice que la prima de riesgo va a aumentar por lo que se recomienda

VENDER

Ilustración 33: GUI para predicción RF

Por otro lado, la interfaz está compuesta por el código generado de forma automática, y que ha sido modificado para conseguir los resultados deseados. Este código, al igual que las interfaces gráficas, se divide en dos:

[interfaz.m](#): código generado al construir la GUI en MATLAB encargada de construir la curva. Implementa los métodos “**callback**” que permiten controlar el funcionamiento de cada uno de los componentes de la interfaz.

Funcionamiento:

Controlar el comportamiento de los siguientes elementos:

1.- Cambio en valor “Fecha”: método llamado cuando el valor del campo “fecha” es modificado por el usuario. Obtiene el número correspondiente a la fecha expresada en formato “dd/mm/yyyy” y lo almacena en el manejador *handles*. Esta variable permite que el valor pueda ser accedido por cualquier función de este módulo (única variable global de la GUI).

2.- Cambio en valor “Metodo”: llamado cuando el valor del desplegable cambia, almacena el valor del mismo (en particular, la posición del valor seleccionado). De este modo, guarda en la variable *handles* un valor que irá del 1 al 5 y que indicará qué método desea usar el usuario para la aproximación.

3.- Selección “Usar Futuros”: el método se activa cuando el usuario modifica la selección. Recibe un 1 cuando se activa la opción y 0 cuando lo contrario. Esta opción se almacena en el manejador *handles*, para que otras funciones puedan conocer esta preferencia.

4. – Selección “Exportar datos a Excel”: el método se activa cuando el usuario modifica la selección. Recibe un 1 cuando se activa la opción y 0 cuando lo contrario. Esta opción se almacena en el manejador *handles*, para que otras funciones puedan conocer esta preferencia.

5.- Cambio en valor “Destino”: llamado cuando el valor del campo “Destino” es modificado por el usuario. Almacena el valor del mismo en la variable *handles* de modo que, en el caso de que el usuario seleccione la opción de exportar los datos, el fichero resultante se guarde en esa localización.

6.- Botón “Cargar Curva”: llama al método correspondiente encargado de construir la CCC (en función de si el usuario ha indicado que desea utilizar futuros para su cálculo) para la fecha que ha introducido el usuario y método de aproximación seleccionado. Una vez recibido el resultado lo muestra en la gráfica de la GUI y calcula el error MSE y MAPE (mostrándolo en la tabla correspondiente) siguiendo la siguiente fórmula:

$$MSE = \frac{\sum_{i=0}^{n^{\circ} \text{ inputs}} (valor_{inicial} - valor_{aprox})^2}{numero \text{ inputs}}$$

Ecuación 28: MSE

$$MAPE = \frac{\sum_{i=0}^{n^{\circ} \text{ inputs}} \frac{(valor_{inicial} - valor_{aprox})}{numero_inputs}}{numero \text{ inputs}}$$

Ecuación 29: MAPE

Además, en el caso de que la opción “Exportar datos a Excel” esté activa, crea el fichero Excel con todos los datos obtenidos (datos de la curva y errores cometidos) guardándolo en el destino indicado en el campo “Destino”.

rentafija.m: código generado al construir la GUI en MATLAB encargada de predecir un valor de Renta Fija. Implementa los métodos “**callback**” que permiten controlar el funcionamiento de cada uno de los componentes de la interfaz.

Funcionamiento:

Controlar el comportamiento de los siguientes elementos:

- 1.- Cambio en valor “Fecha”: método llamado cuando el valor del campo “fecha” es modificado por el usuario. Obtiene el número correspondiente a la fecha expresada en formato “dd/mm/yyyy” y lo almacena en el manejador *handles*. Esta variable permite que el valor pueda ser accedido por cualquier función de este módulo (única variable global de la GUI).
- 2.- Cambio en valor “ISIN”: llamado cuando el valor del campo “ISIN” es modificado por el usuario. Obtiene el mismo y lo almacena en el manejador *handles*, permitiendo que pueda ser accedido por cualquier función de este módulo.
- 3.- Botón “Predecir”: llama al método correspondiente encargado de predecir el comportamiento futuro de un valor de Renta Fija (dada una fecha y un ISIN). Una vez recibido el resultado y en un función de si se aconseja comprar o vender, muestra la recomendación por pantalla.

4.2.2.5.3 Relación entre componentes.

A continuación se muestra como se relacionan cada uno de los módulos descritos, numerando además el orden en que esta se establecería. Para la interfaz de diseño de la CCC:

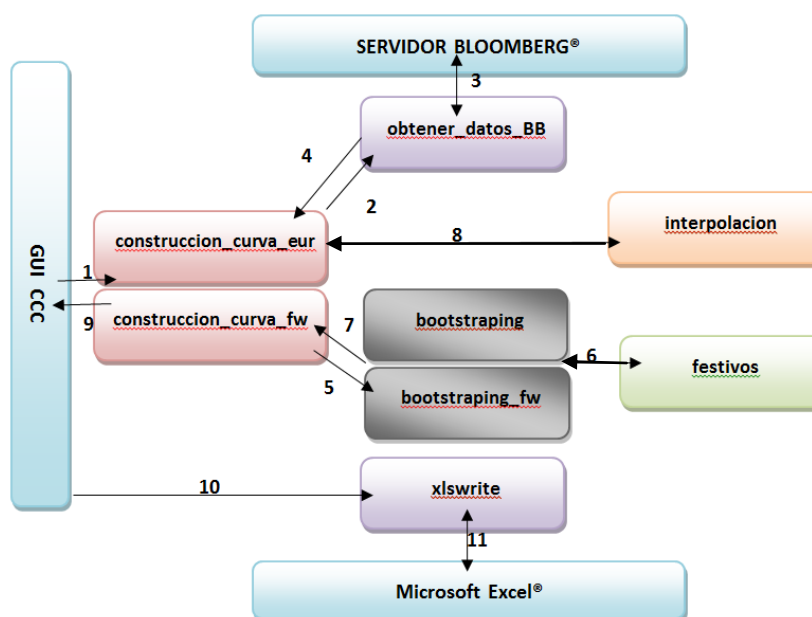


Ilustración 34: relación módulos CCC

Para el apartado de predecir, la interacción entre módulos sería la siguiente:

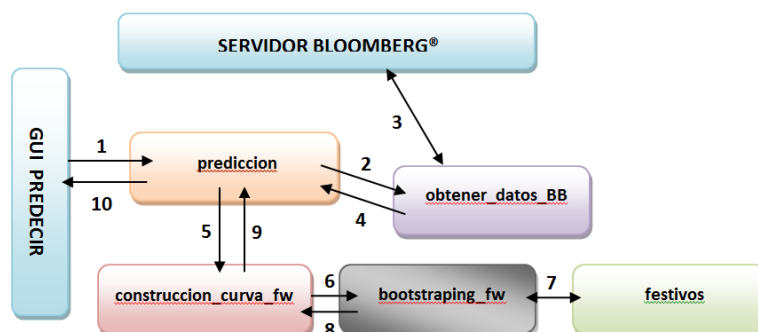


Ilustración 35: relación módulos Predicción RF

4.2.2.6 Funcionamiento del programa

Este apartado explica, mediante el uso de diagramas de flujo, cómo funcionaría el diseño descrito en los puntos anteriores. No se pretende describir los módulos (que ya han sido descritos) si no cómo funcionan y bajo qué condiciones cada uno de los programas desarrollados:

4.2.2.6.1 Predecir Renta Fija

1.- El usuario selecciona fecha sobre la que realizar la predicción e **ISIN** del activo sobre el que predecir.

2.- Se comprueba si la fecha es superior al día actual.

2.1. Si la predicción se desea realizar para una fecha futura se obtienen de Bloomberg® los tipos Eonia, Euribor, FRA e IRS necesarios para construir la CCC para los último tres meses.

2.2. Si la predicción se desea realizar para una fecha anterior, se obtienen de Bloomberg® los tipos Eonia, Euribor, FRA e IRS necesarios para construir la CCC para los último tres meses a contar desde la fecha introducida menos un día.

3.- Se obtienen rentabilidades y fecha de vencimiento del activo, identificándolo a través de su ISIN. Se comprueba que el activo sea de Renta Fija y esté denominado en Euros.

3.1. Si la predicción se desea realizar para una fecha futura se obtienen rentabilidades para los últimos tres meses.

3.2. Si la predicción se desea realizar para una fecha anterior, se obtienen rentabilidades para los últimos tres meses a contar desde la fecha introducida menos un día.

4.- Si todo correcto, para cada una de las fechas:

4.1. Se calcula CCC para el Euro sobre esa fecha.

4.2. Se calcula el tiempo que le queda al activo para vencer.

4.3. Se almacena la diferencia entre el tipo cupón cero de la curva (a plazo igual al tiempo hasta madurez del bono) y la rentabilidad del activo.

5.- Se predice resultado en fecha indicada al inicio.

5.1. Se predice desde fecha igual a última curva generada hasta que sea igual a la fecha indicada por el usuario.

6.- Se muestra resultado

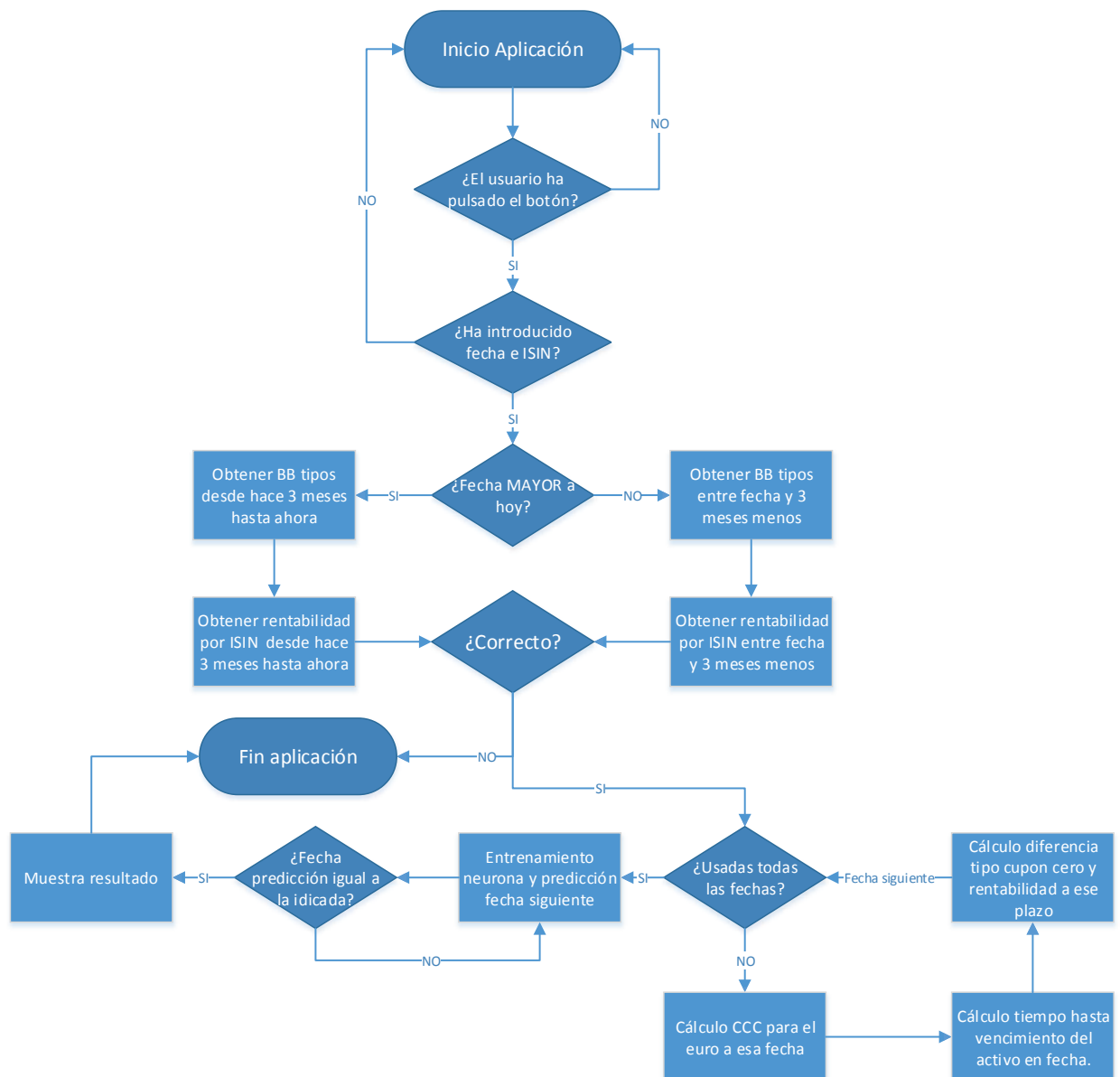


Ilustración 36: diagrama de flujo PREDICCIÓN

4.2.2.6.2 Calcular CCC sobre el Euro

1.- El usuario introduce como mínimo fecha para la que dibujar la curva. Debe ser menor a la fecha actual.

2.- Se obtienen de Bloomberg® los datos necesarios.

- 2.1- Si el usuario ha seleccionado la opción de usar futuros se obtienen los tipos Eonia, Euribor, FRA e IRS para la fecha indicada.
- 2.2- Si el usuario no ha seleccionado la opción de usar futuros se obtienen los tipos Eonia, Euribor e IRS para la fecha indicada.
- 3.- Para cada tipo se obtiene factor de descuento y, si es necesario, se realiza *Bootstrapping* (solo en los swaps).
- 4.- Se realiza método de aproximación seleccionado para obtener más puntos de la curva.
- 5.- Se calculan errores cometidos.
- 6.- Si el usuario ha seleccionado la opción de exportar datos a Excel se genera un nuevo fichero Excel a guardar en la ruta especificada.

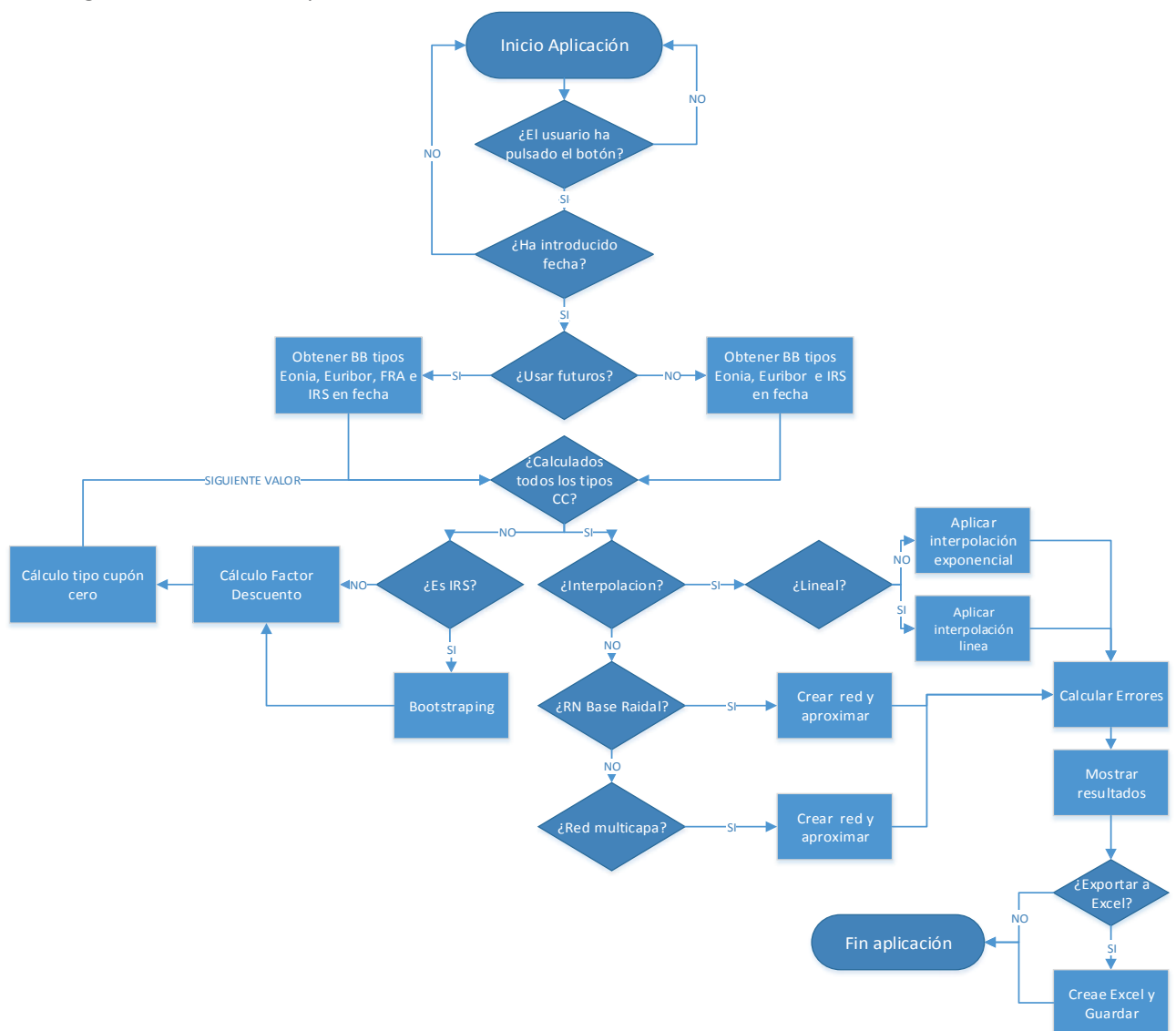


Ilustración 37: diagrama de flujo DISEÑO CCC

5 Resultados y Discusiones

Este apartado, describe y analiza los resultados obtenidos de las principales pruebas realizadas con el fin de, no solo comprobar el buen funcionamiento del sistema, sino también de extraer conclusiones de este.

5.1 Resultados

A continuación, se detallan las principales pruebas realizadas, indicando los resultados obtenidos con cada una de ellas.

5.1.1 Curvas Cupón Cero

Para realizar estas pruebas, y dada la necesidad de disponer de un terminal Bloomberg® para probar el sistema, se ha utilizado un fichero de datos estáticos. Se ha obtenido de Bloomberg® los datos históricos necesarios para **fechas comprendidas entre 01/06/2012 y 01/06/2014** (Eonia, Euribor, IRS y FRA).

Estos datos, se han almacenado en un Excel, de modo que ha sido posible acceder a los mismos por fechas a través de una Macro desarrollada en Visual Basic. En función de la fecha solicitada por MATLAB, esta le devuelve los tipos (como si de un servidor Bloomberg® se tratara).

De este modo, todos los resultados obtenidos, y que se exponen a continuación, se derivan de las 526 Curvas Cupón Cero dibujadas con estos datos, y por tanto comprendidas entre 2012 y 2014.

Importante mencionar que en la representación de las curvas, las **rojas** corresponden a las realizadas usando **interpolación**, las **verdes** mediante **RNA feedforward** (también denominadas multicapa) y las **azules** mediante **RNA de base radial**.

5.1.1.1 Errores cometidos

Una de las pruebas realizadas ha consistido en evaluar el error cometido (MSE y MAPE) con cada uno de los métodos de aproximación implementados.

El objetivo es el de poder comprobar, con datos conocidos, si las Redes Neuronales se están diseñando y aplicando correctamente. Además, esta misma prueba ha permitido, también, extraer conclusiones sobre los métodos de aproximación de mayor rendimiento (se detalla en discusiones).

También, se han calculado estos errores con *inputs* distintos (en algunos casos con FRA y en otros casos sin ellos) con el fin de comprobar si los resultados son iguales a los anteriores, comparando tanto el error cometido, como las diferencias entre unos y otros métodos.

Para ello, en primer lugar **se han dibujado las curvas usando como input, únicamente, los tipos Eonia, Euribor e IRS**. Una vez construidas, se ha calculado el error de la aproximación comparando cada uno de los puntos de la curva dibujada, con los tipos cupón cero obtenidos antes de aplicar el método de aproximación correspondiente.

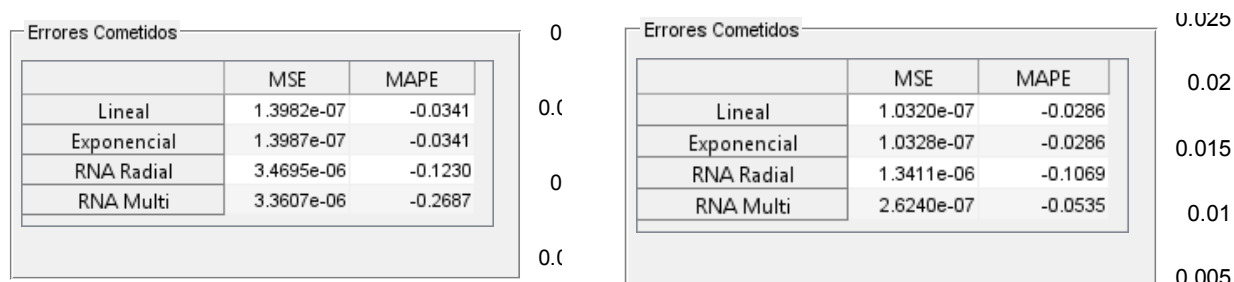


Tabla 6: errores SIN futuros 17/07/2012

Tabla 9: errores SIN futuros 24/06/2013

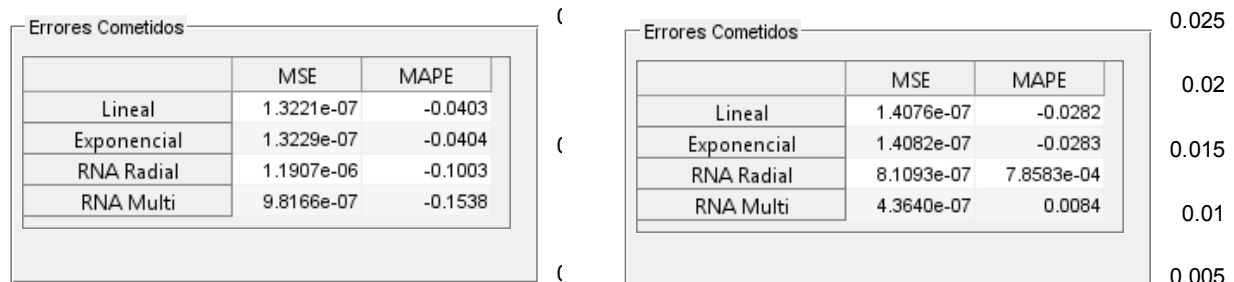


Tabla 7: errores SIN futuros 18/10/2012

Tabla 10: errores SIN futuros 27/01/2014

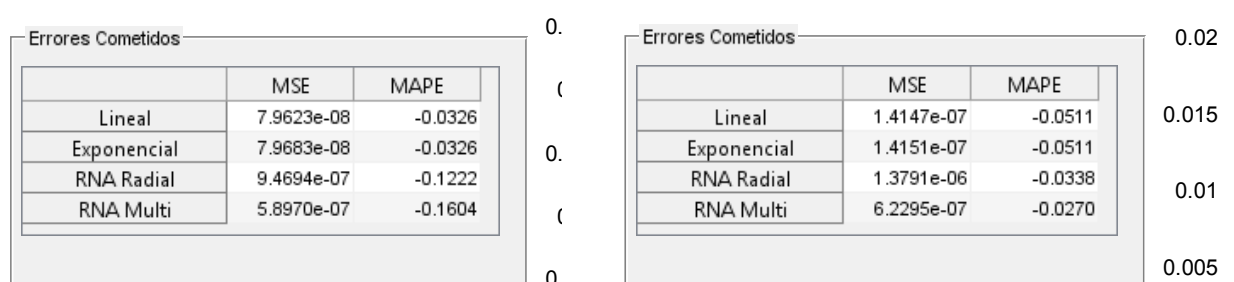


Tabla 8: errores SIN futuros 28/01/2013

Tabla 11: errores SIN futuros 30/05/2014

Así mismo se ha realizado la prueba anterior pero **usando como *input*, también, futuros sobre el Euribor**. Al igual que en el caso anterior, y una vez construidas, se ha calculado el error de la aproximación comparando cada uno de los puntos de la curva dibujada, con los tipos cupón cero obtenidos antes de aplicarlos.

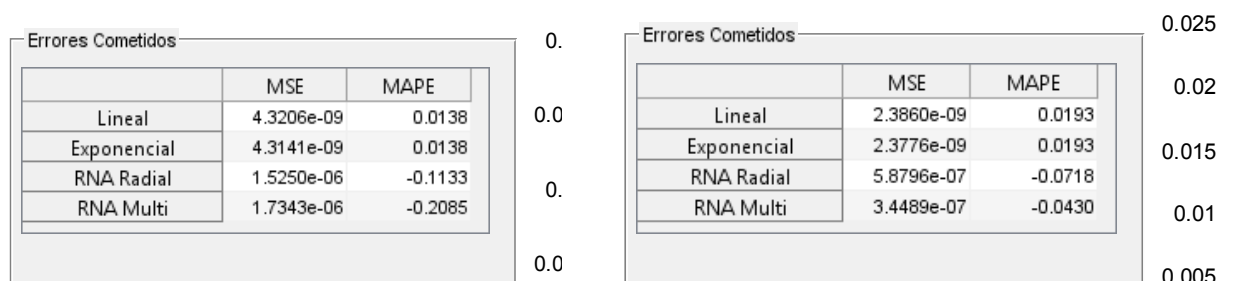


Tabla 12: errores CON futuros 17/07/2012

Tabla 13: errores CON futuros 18/10/2012

Errores Cometidos		
	MSE	MAPE
Lineal	1.8989e-09	0.0130
Exponencial	1.8945e-09	0.0130
RNA Radial	7.9086e-07	-0.1563
RNA Multi	3.8983e-07	-0.1169

Tabla 14: errores CON futuros 28/01/2013

Errores Cometidos		
	MSE	MAPE
Lineal	2.3860e-09	0.0193
Exponencial	2.3776e-09	0.0193
RNA Radial	5.8796e-07	-0.0718
RNA Multi	3.4489e-07	-0.0430

Tabla 16: errores CON futuros 27/01/2014

Errores Cometidos		
	MSE	MAPE
Lineal	1.7742e-09	0.0112
Exponencial	1.7677e-09	0.0112
RNA Radial	1.2723e-06	-0.1233
RNA Multi	3.0092e-07	-0.1448

Tabla 15: errores CON futuros 24/06/2013

Errores Cometidos		
	MSE	MAPE
Lineal	2.3024e-09	-0.0028
Exponencial	2.2991e-09	-0.0028
RNA Radial	9.3284e-07	-0.0189
RNA Multi	3.6721e-07	-0.0888

Con el objetivo de comprobar si las RNA permiten crear buenas curvas sin necesidad de introducir más datos de entrada, **se ha comparado si la curva generada usando redes (y sin uso de futuros)** se asemeja más a la curva diseñada con **interpolación y FRA** (que permiten suavizar la forma de la curva en los primeros puntos) que la creada, con **interpolación y sin futuros** (que presenta más irregularidades).

Pare ello, se ha calculado el error que cometen las redes (dibujando la curva SIN futuros) comparando los resultados obtenidos con los valores de entrada CON futuros (más *inputs*) y SIN futuros (menos *inputs*), con el fin de comprobar a cuáles se asemejan más.

El objetivo es determinar si el uso de Redes Neuronales permite obtener curvas similares sin necesidad de utilizar más datos de entrada (que deben ser transformados y, por tanto, que introducirán más error en la curva creada).

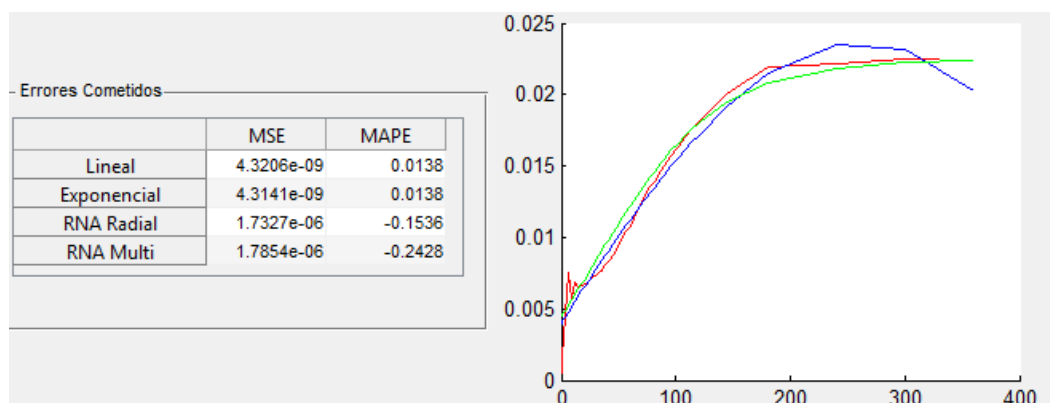


Ilustración 38: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 17/07/2012

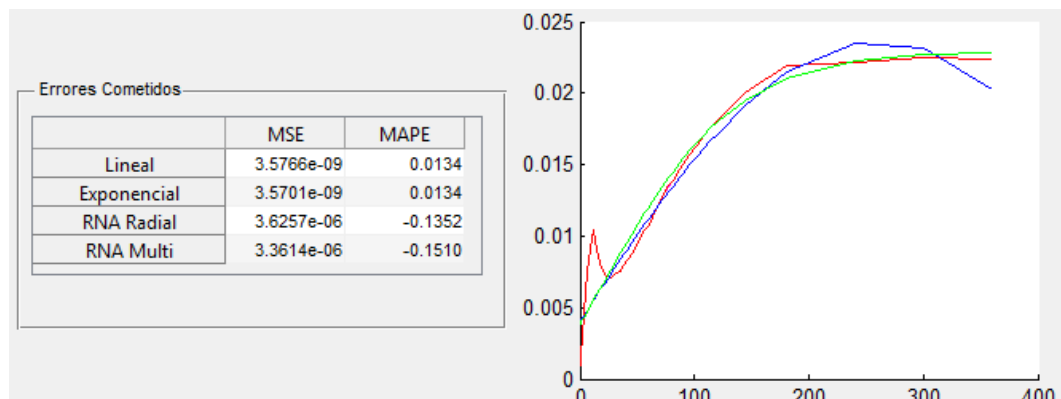


Ilustración 39: interpolación y redes SIN futuros 17/07/2012

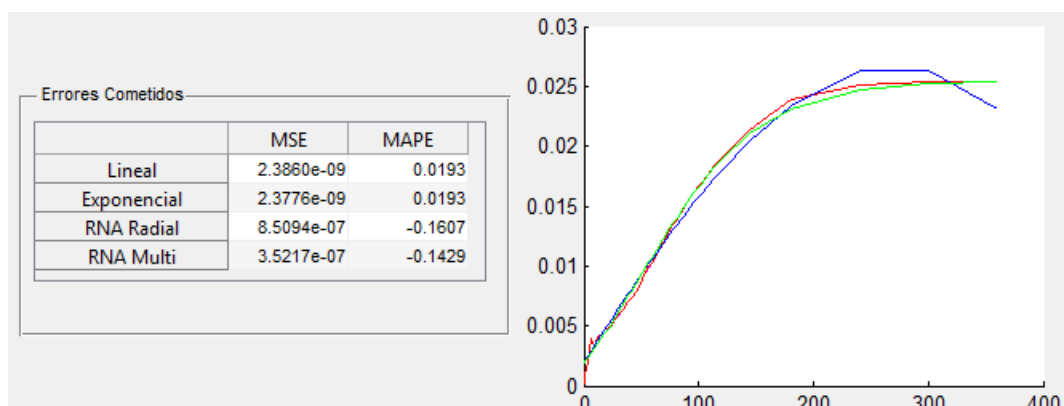


Ilustración 40: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 18/10/2012

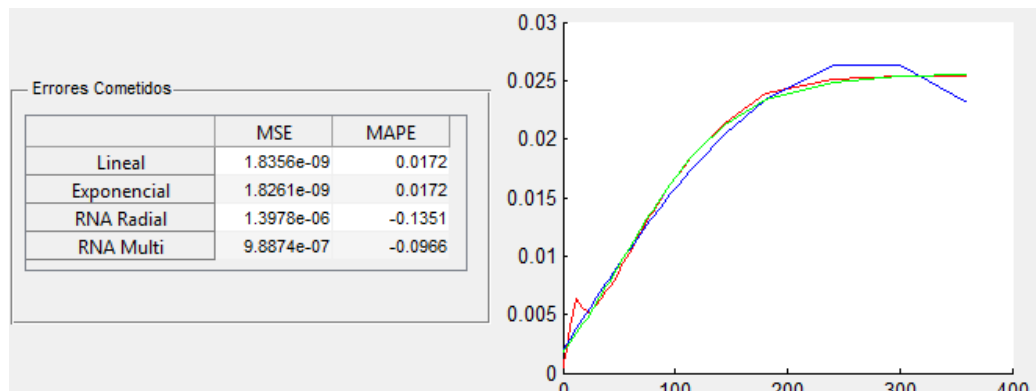


Ilustración 41: interpolación y redes SIN futuros 18/10/2012

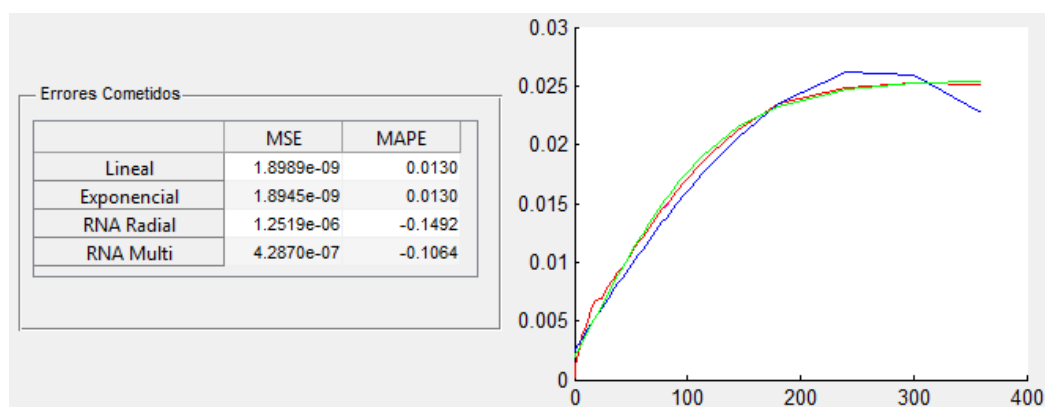


Ilustración 42: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 28/01/2013

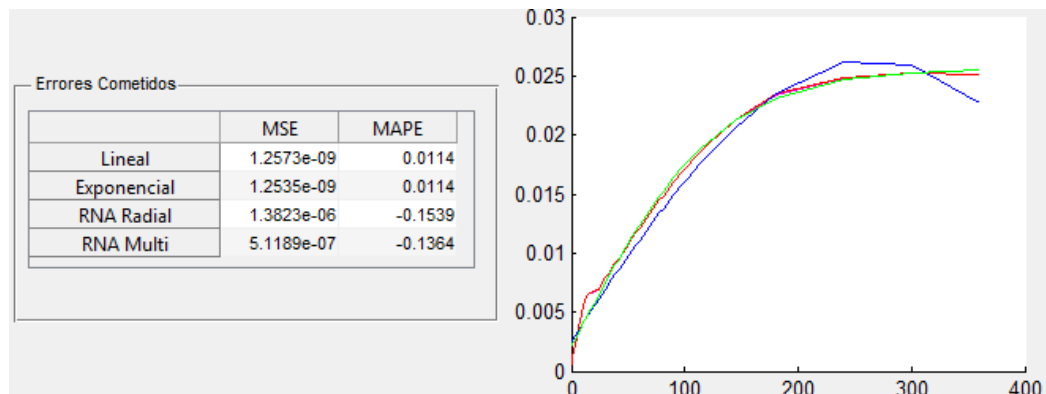


Ilustración 43: interpolación y redes SIN futuros 28/01/2013

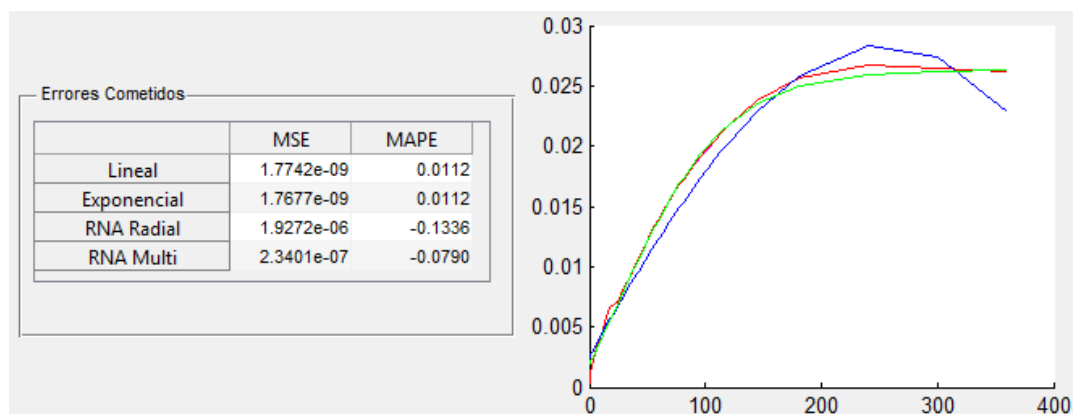


Ilustración 44: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 24/06/2013

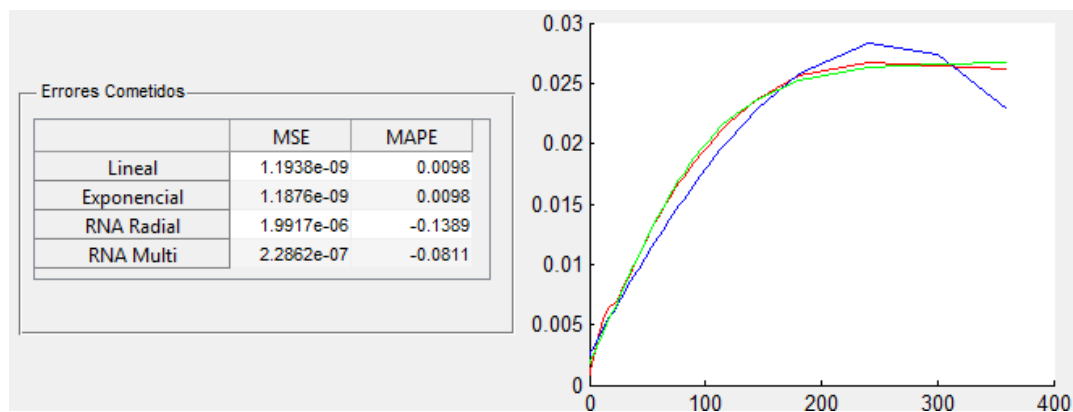


Ilustración 45: interpolación y redes SIN futuros 24/06/2013

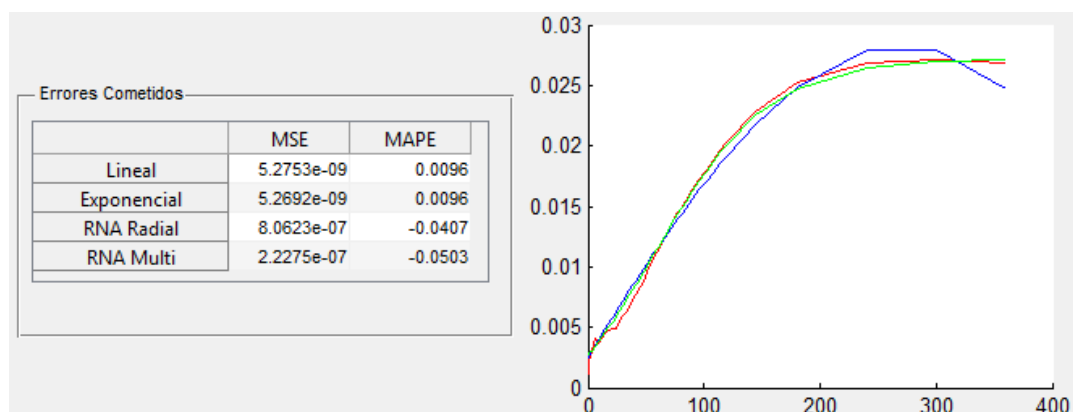


Ilustración 46: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 27/01/2014

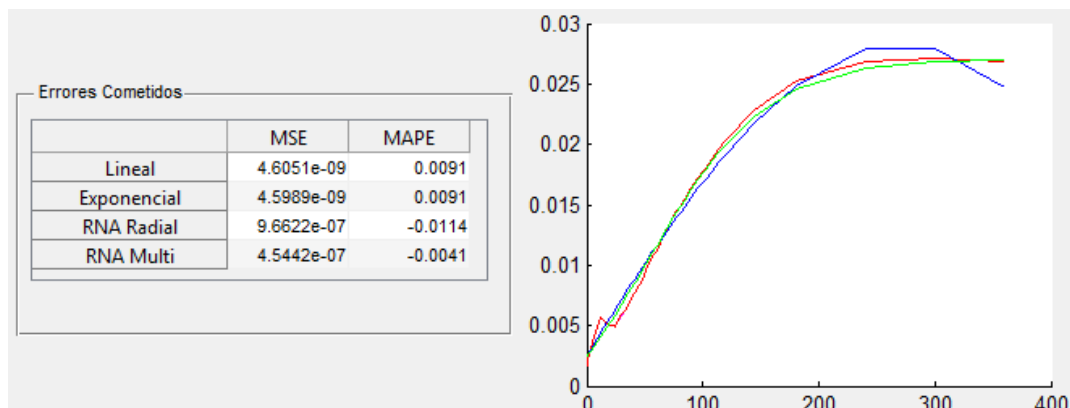


Ilustración 47: interpolación y redes SIN futuros 27/01/2014

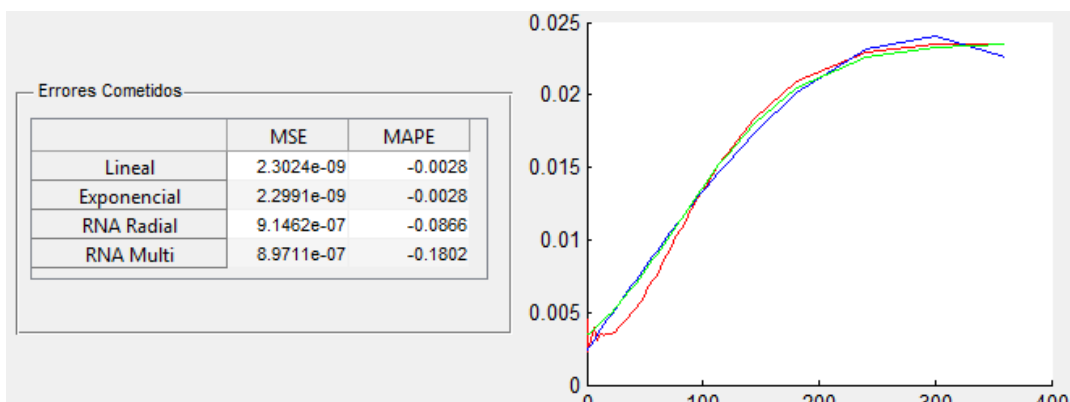


Ilustración 48: interpolación CON futuros, redes SIN futuros 30/05/2014

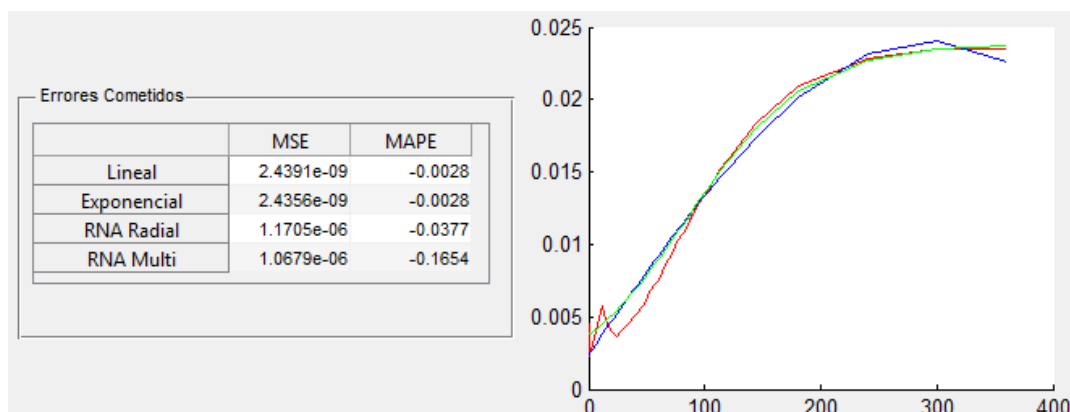


Ilustración 49: interpolación y redes SIN futuros 30/05/2014

5.1.1.2 Representación CCC

Para comprobar, gráficamente, cuál es el desempeño de los distintos métodos implementados, se han dibujado, para una misma fecha, curvas usando diferentes métodos e *inputs*. Permite comparar, visualmente, si los errores calculados en pruebas anteriores, afectan a la forma de la curva. Así mismo, permite comprobar si, los puntos calculados con RNA dibujan curvas que, a priori, parecen correctas (dada de su forma).

Para ello, en primer lugar, se han dibujado las curvas **sin futuros**, con cada uno de los métodos de aproximación implementados.

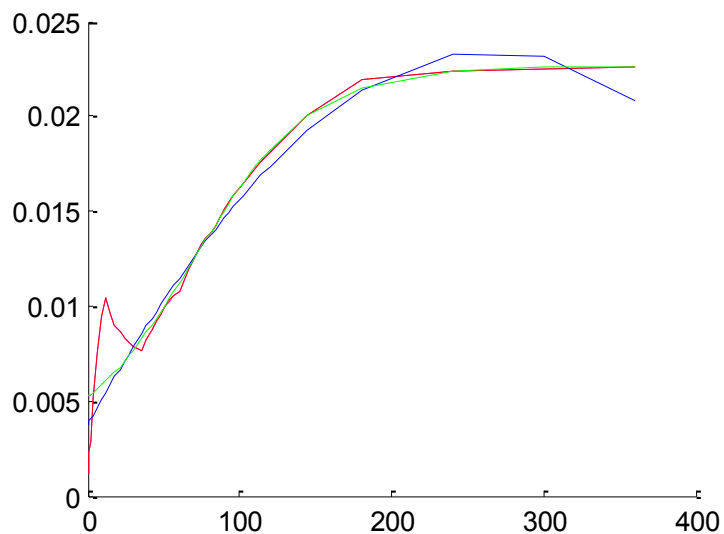


Ilustración 50: curva SIN futuros 17/07/2012

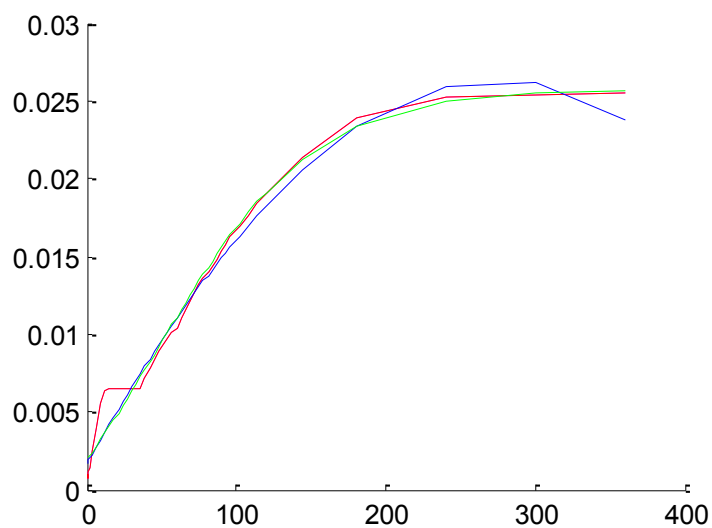


Ilustración 52: curva SIN futuros 28/01/2013

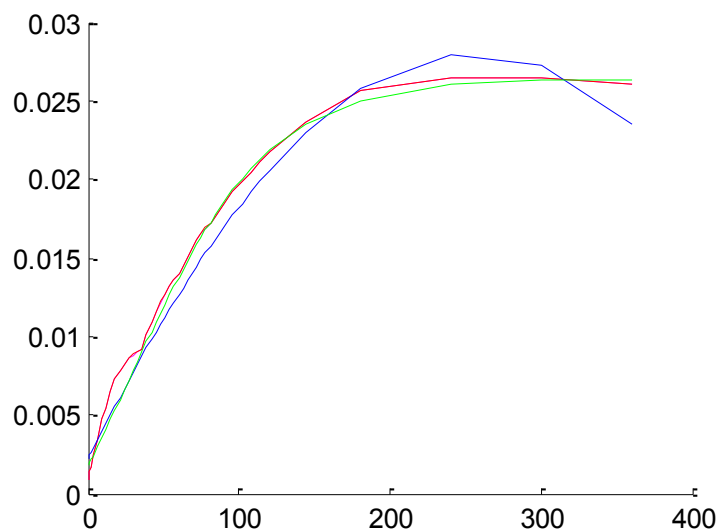


Ilustración 53: curva SIN futuros 24/06/2013

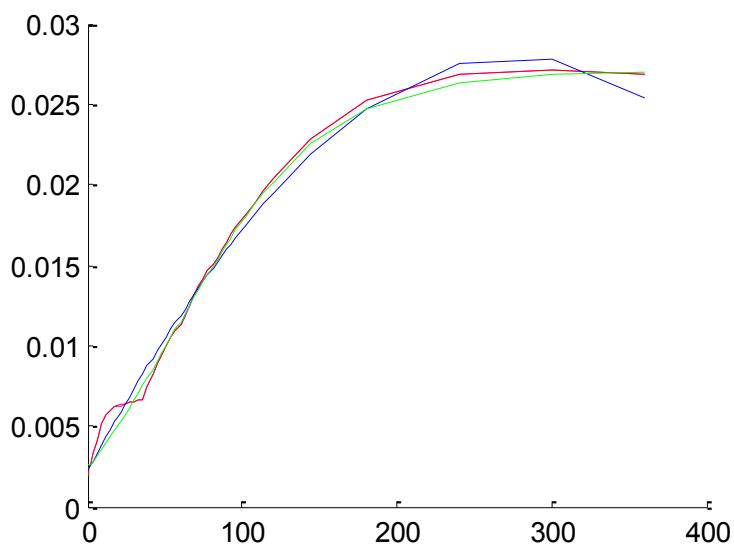


Ilustración 54: curva SIN futuros 27/01/2014

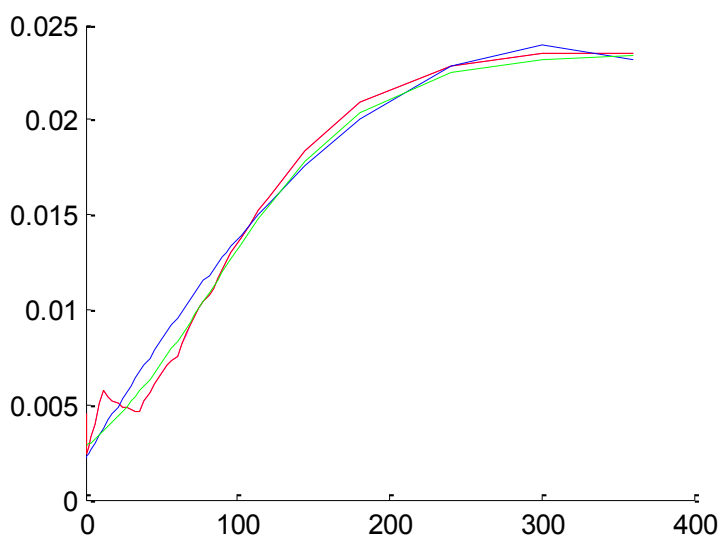


Ilustración 55: curva SIN futuros 30/05/2014

Por otro lado, se han dibujado las curvas **usando, en este caso también, futuros**. El objetivo ha sido el de, comprobar cómo, no solo las curvas se suavizan cuando se usa interpolación si no también el de comparar las curvas anteriores con estas (con el fin de observar cómo la elección del *input* afecta a la forma de la ETTI).

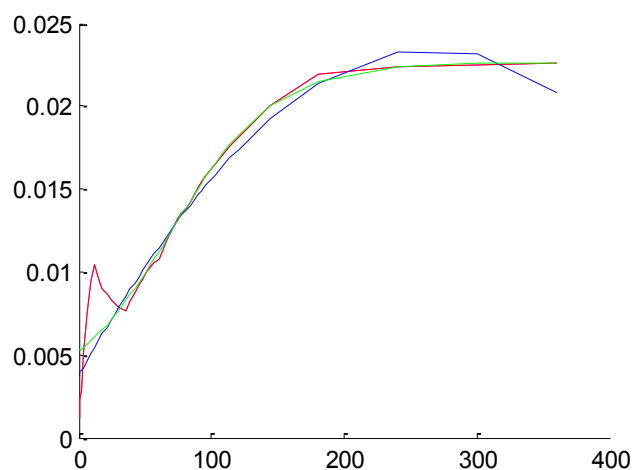


Ilustración 56: curva CON y SIN futuros 17/07/2012

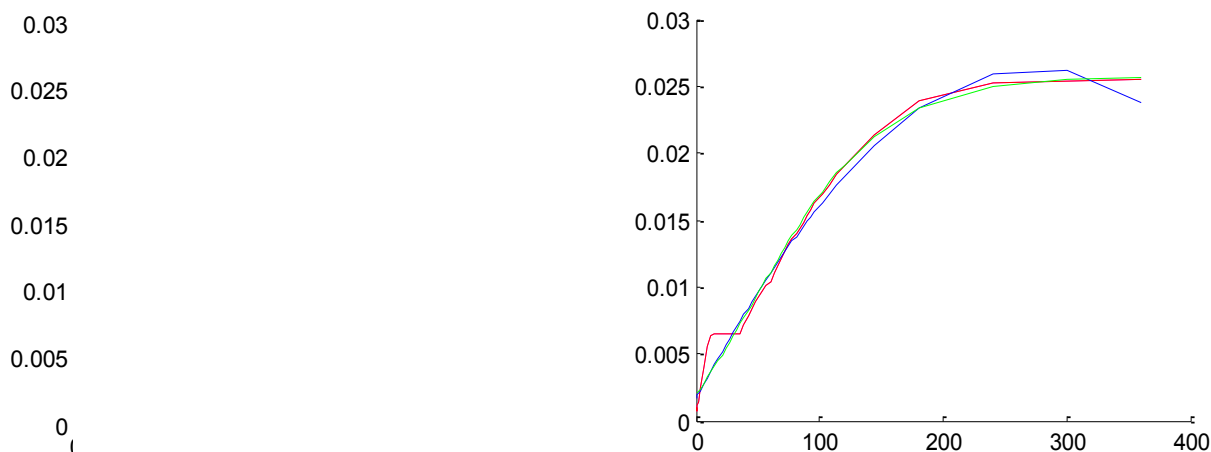


Ilustración 57: curva CON y SIN futuros 18/10/2012

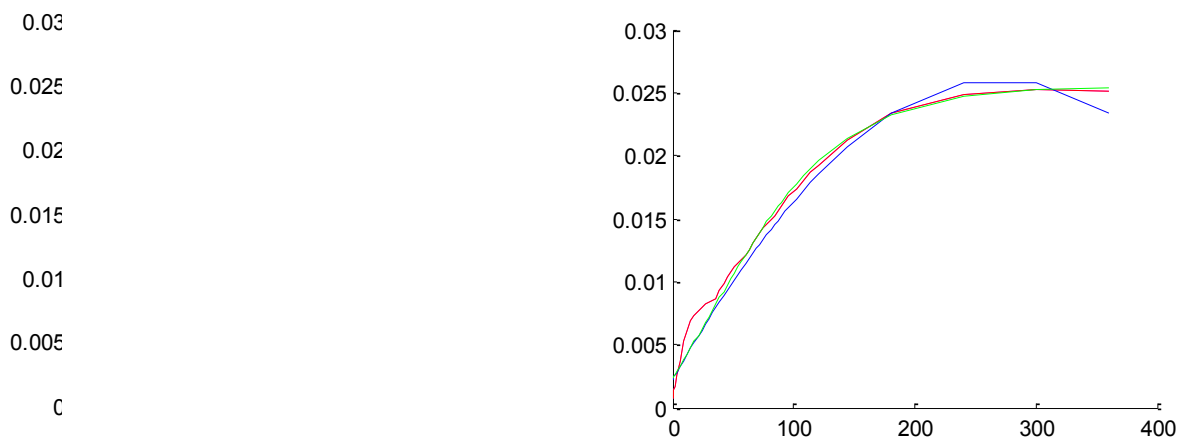


Ilustración 58: curva CON futuros 28/01/2013

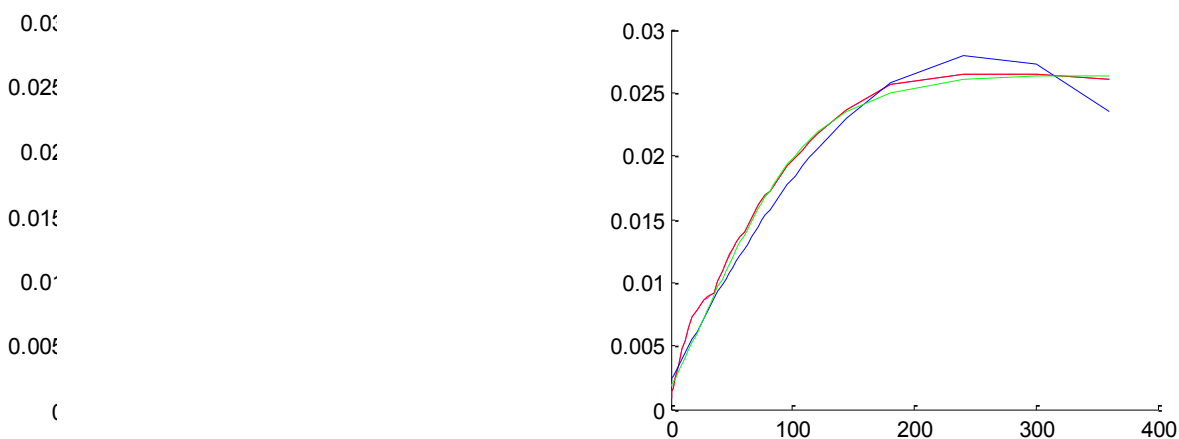


Ilustración 59: curva CON y SIN futuros 24/06/2013

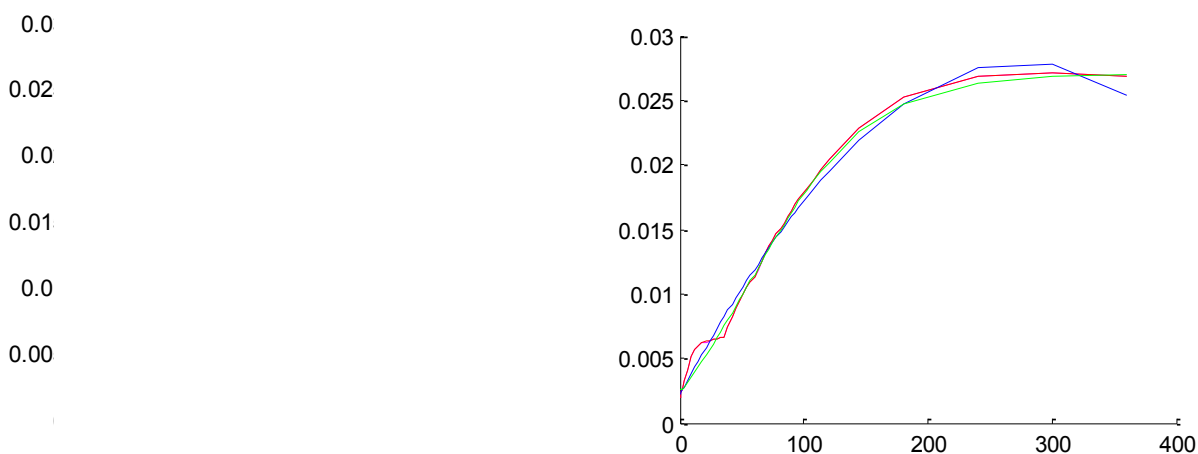


Ilustración 60: curva CON y SIN futuros 27/01/2014

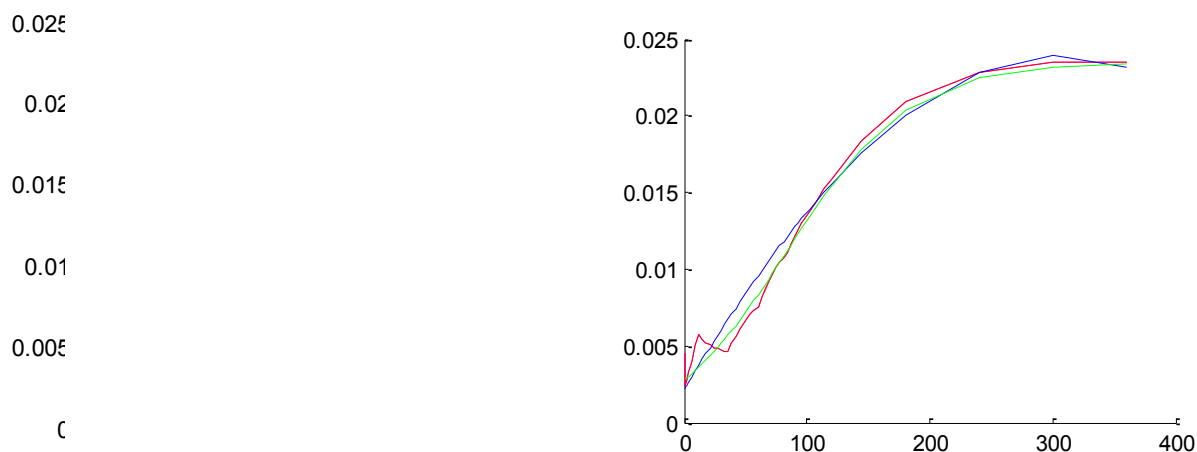


Ilustración 61: curva CON y SIN futuros 30/05/2014

Por último, y con el fin de comprobar **cómo diferentes escenarios y situaciones afectan a la CCC**, se ha representado la misma (mediante Redes Neuronales *feedforward*) en distintos momentos de tiempo.

El objetivo ha sido el de poder comprobar cómo situaciones de más inestabilidad y de menos, se plasman en la forma de la curva, y por tanto, cómo afectan a los “tipo cupón cero” a corto, medio y largo plazo.

Se ha optado por medir el nivel de inestabilidad, a través del valor de la prima de riesgo española (por tratarse de un indicador clave en la economía). De este modo, se ha decidido representar curvas en momentos claves de la misma, comprendidos entre mediados de 2012 (máximos en la prima de riesgo) y mediados de 2014 (disminución significativa).

Fecha	Prima de Riesgo
01/06/2012	535 pb
17/07/2012	559 pb
23/07/2012	630 pb
03/12/2012	385 pb
07/01/2013	358 pb
30/05/2013	285 pb
17/07/2013	319 pb
23/05/2014	156 pb
30/05/2014	150 pb

Tabla 18: histórico prima de riesgo española

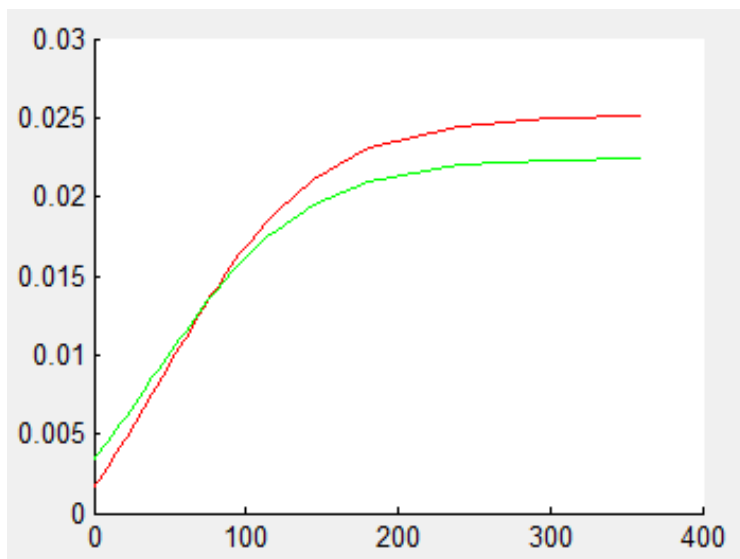


Ilustración 62: CCC 17/07/2012 (verde) y 17/07/2013

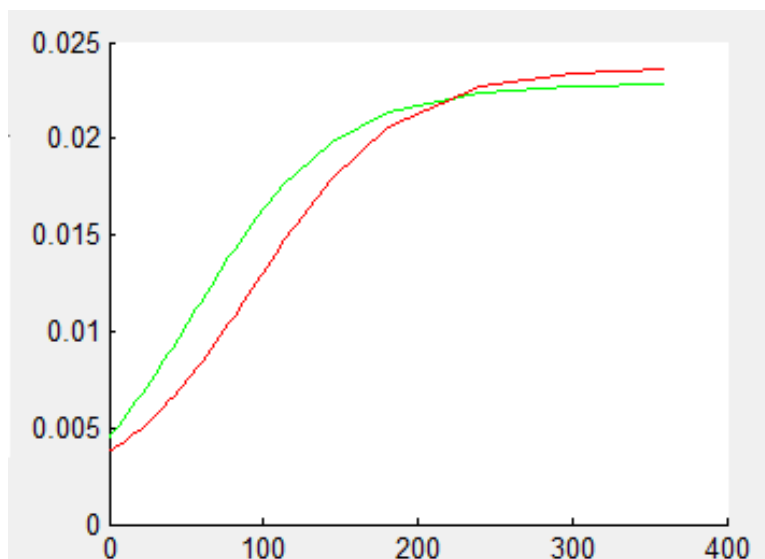


Ilustración 63: CCC 23/07/2012 (Verde) y 23/05/2014 (Roja)

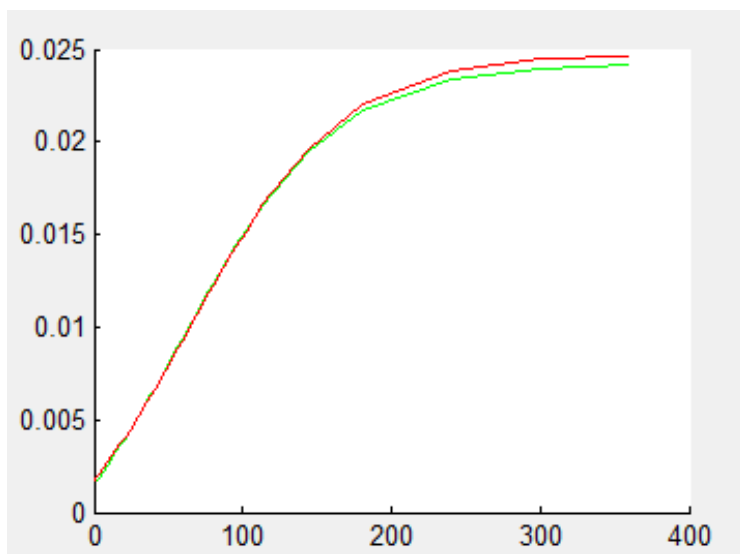


Ilustración 64: CCC 03/12/2012 (verde) y 07/01/2013 (ROJA)

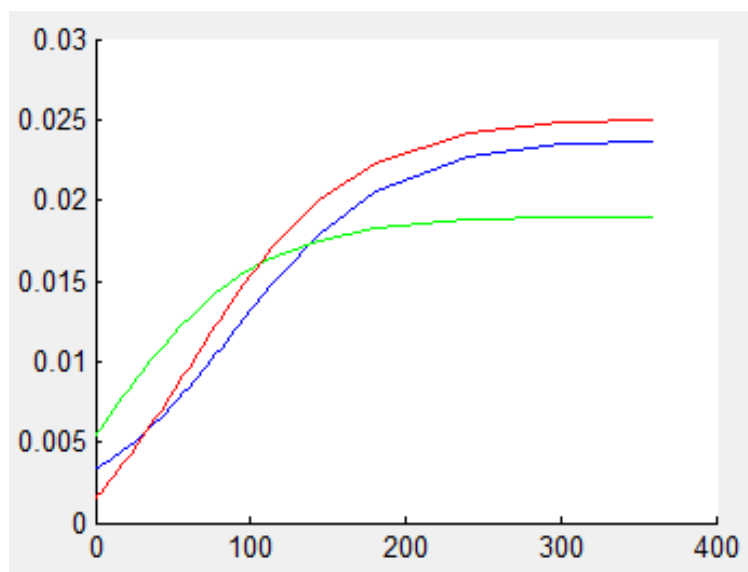


Ilustración 65: CCC 01/06/2012 (verde) 30/05/2013 (roja) 30/05/2014 (azul)

5.1.1.3 Configuración Redes Neuronales

El objetivo de estas pruebas ha sido el de comprobar cómo afecta en la aproximación la configuración de la red diseñada. En este caso, se han variado distintos parámetros de configuración de las mismas, con el fin de comprobar, gráficamente y a través del error cometido, cómo afecta al resultado. Para ello, se han dibujado curvas para la misma fecha, variando distintos aspectos.

En primer lugar, **se ha variado el número de neuronas** de la misma comparando la variación que esto tiene en el error cometido durante la aproximación.

El objetivo es el de encontrar el equilibrio entre capacidad de cómputo y resultado (no tiene sentido diseñar una red muy potente cuando el resultado que se consigue es el mismo que usando una tres veces más ligera, por ejemplo).

Para ello, se ha creado la misma curva 50 veces usando para la aproximación una red multicapa con un número de neuronas ocultas que ha ido variando desde 1 hasta 50.

En los errores solo se muestra el cometido por la red Multicapa ya que ha sido la empleada para realizar esta prueba.

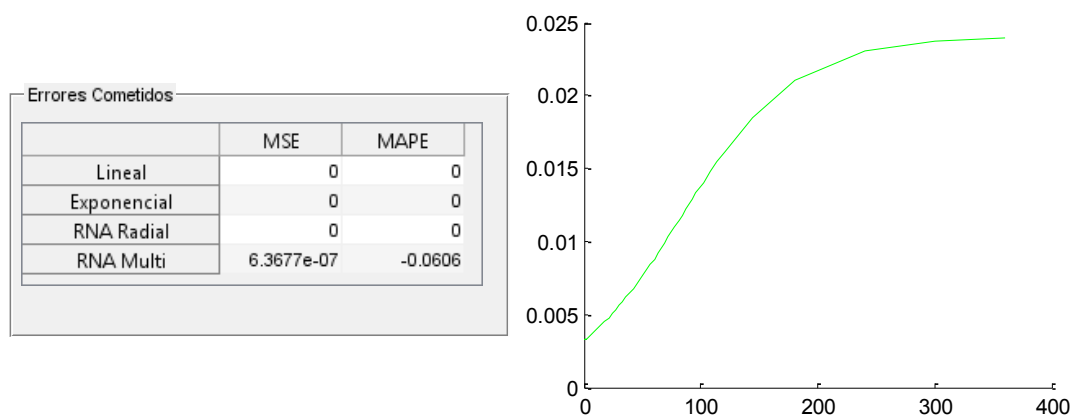


Ilustración 66: errores y curva con 1 neurona

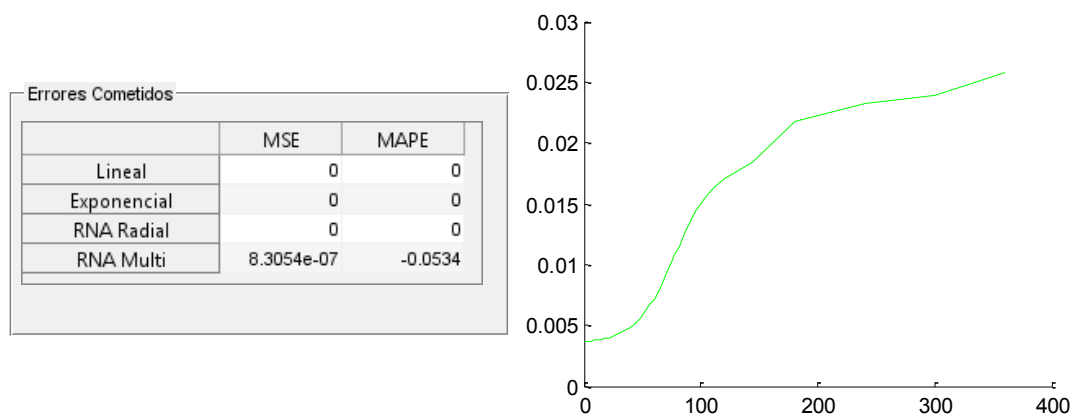


Ilustración 67: errores y curva con 5 neuronas

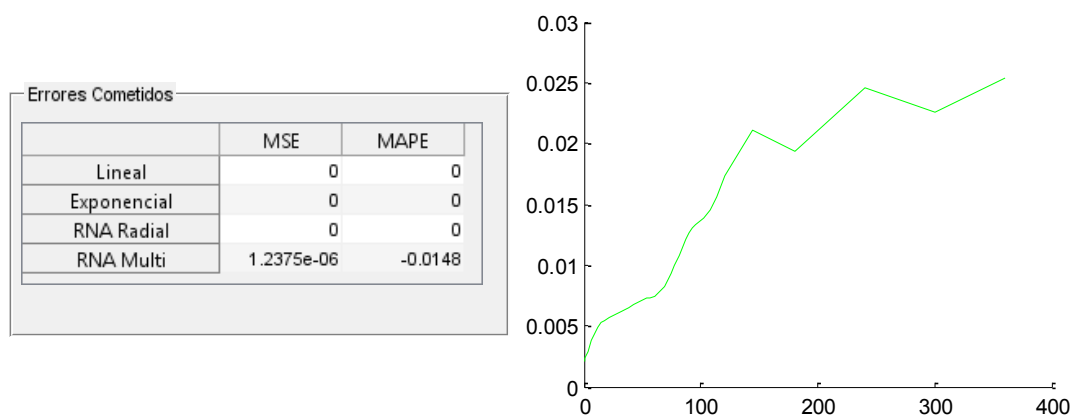


Ilustración 68: errores y curva con 10 neuronas

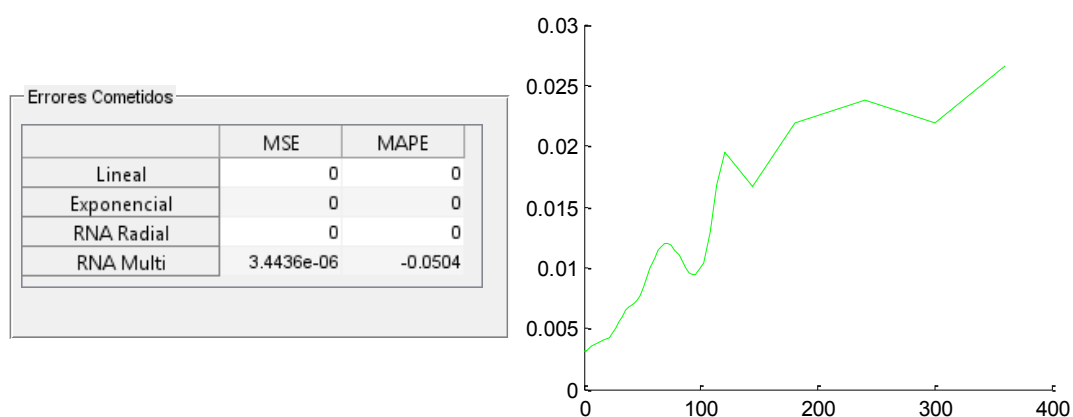


Ilustración 69: errores y curva con 14 neuronas

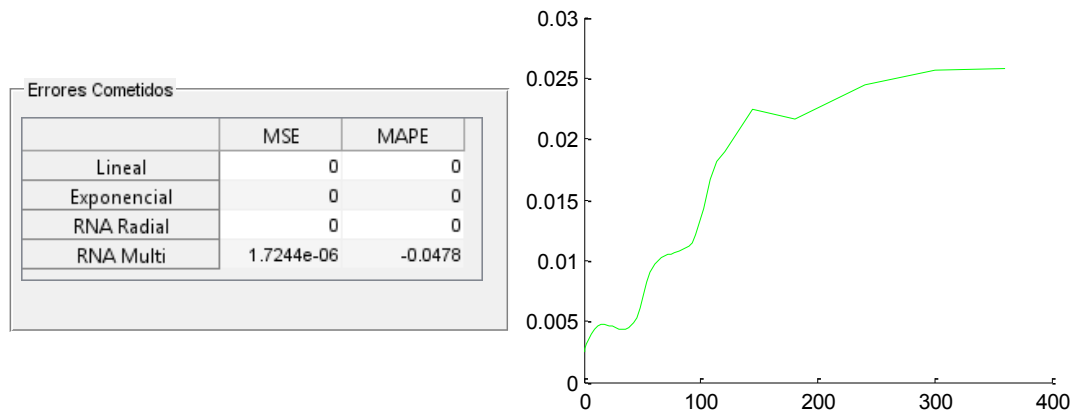


Ilustración 70: errores y curva con 15 neuronas

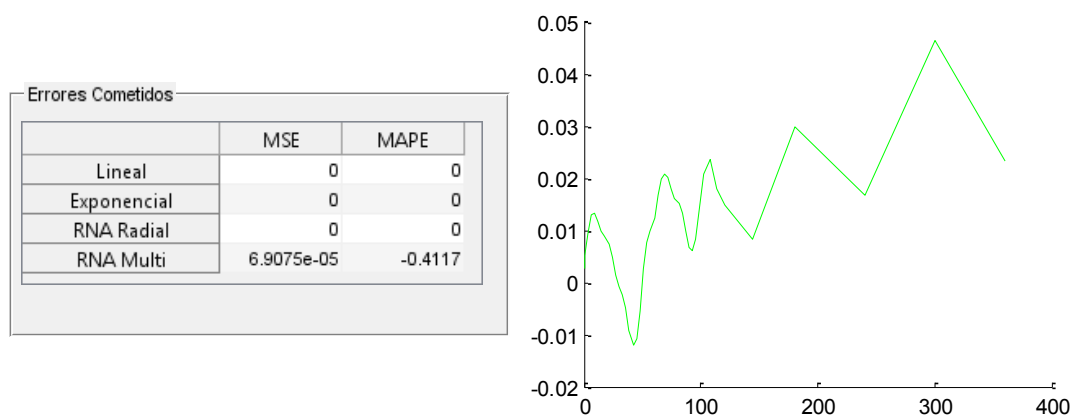


Ilustración 71: errores y curva con 30 neuronas

Además, se ha variado el **máximo error permitido (GOAL)** y el **spread** (es decir, la anchura de las funciones radiales) comparando el impacto que esto tiene en el error cometido durante la aproximación. En este caso, esta prueba ha sido realizada sobre curvas dibujadas con Redes Neuronales de base radial.

Puesto que dada la naturaleza del problema, cambios en el máximo error permitido (GOAL) no afectan al resultado (con valores razonables siempre se alcanza el objetivo), únicamente se ha modificado el spread.

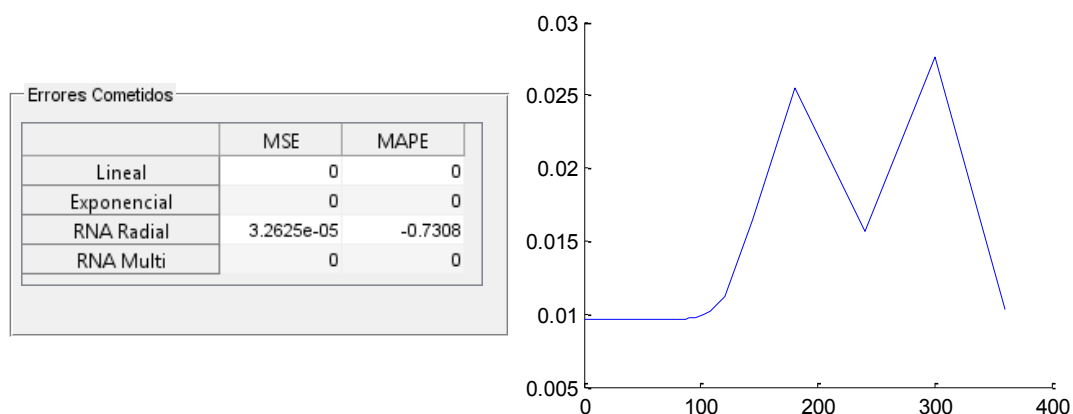


Ilustración 72: errores y curva con sc=1000

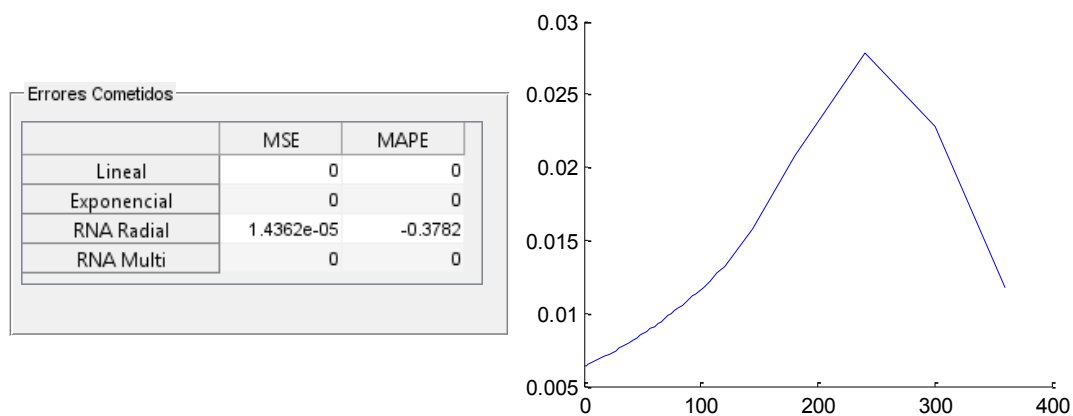


Ilustración 73: errores y curva con $sc=2500$

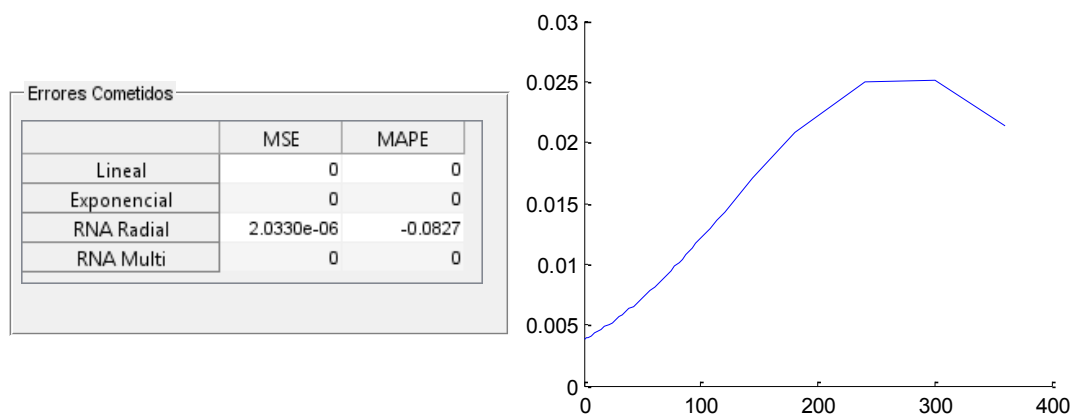


Ilustración 74: errores y curva con $sc=5000$

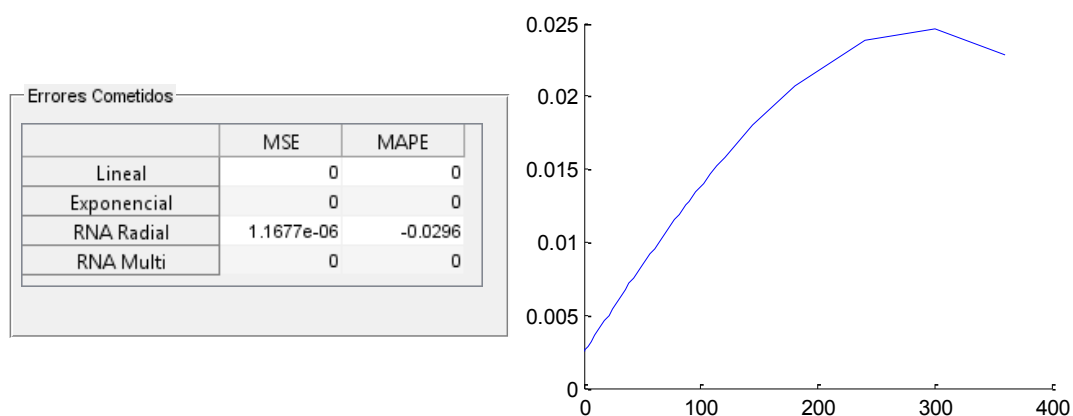


Ilustración 75: errores y curva con $sc=10000$

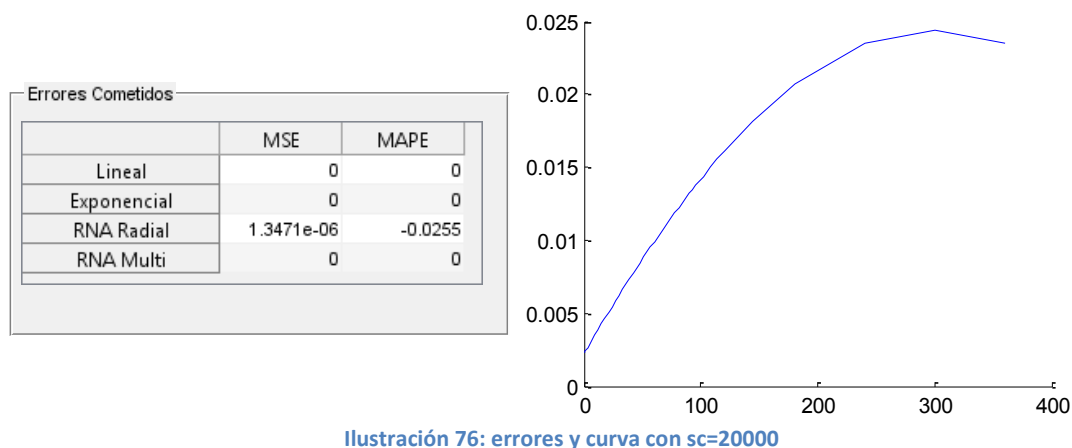


Ilustración 76: errores y curva con $sc=20000$

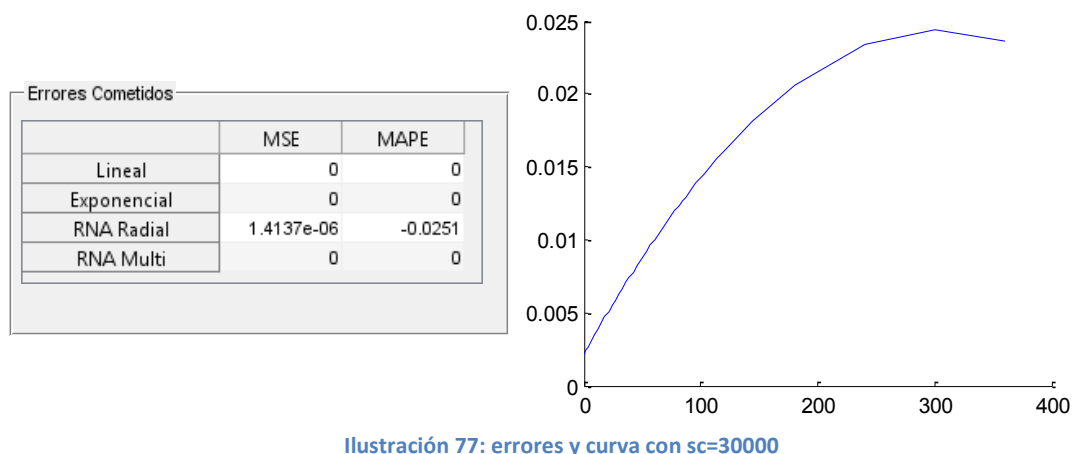


Ilustración 77: errores y curva con $sc=30000$

5.1.2 Predicción Renta Fija

Para realizar estas pruebas, y dada la necesidad de disponer de un terminal Bloomberg® para probar el sistema, se ha utilizado un fichero de datos estáticos. Se ha obtenido de Bloomberg® los datos históricos necesarios para **fechas comprendidas entre 01/06/2012 y 01/06/2014** (Eonia, Euribor, IRS y FRA). Así mismo, se ha obtenido la rentabilidad histórica (hasta el 01/06/2014) del **bono español a 10 años emitido el 22/11/2011 y con vencimiento 22/11/2021**.

Al igual que en el caso de las CCC, estos datos se han almacenado en un Excel, de modo que ha sido posible acceder a los mismos por fechas a través de una Macro desarrollada en Visual Basic. En función de la fecha solicitada para la predicción, esta devuelve los tipos necesarios para construir las curvas, así como las rentabilidades que dicho bono alcanzó en esas mismas fechas.

De este modo, y con el fin de probar el rendimiento de las Redes, se ha predicho para fechas en las cuales el rendimiento del bono se conoce (es decir, a pasado), pudiendo comprobar, en todos los casos, si la misma ha sido correcta o no.

Mencionar que todas las pruebas se han realizado, al menos, para 10 fechas distintas, con el fin de obtener un resultado fiable (lo menos condicionado por el momento temporal para el que se esté prediciendo).

5.1.2.1 Configuración RNA

Una de las pruebas realizadas, ha estado centrada en comprobar cómo afecta a la predicción variaciones en los datos y la configuración de la RNA. Para calcular este efecto, se han comparado los distintos errores cometidos durante la predicción (y que el propio MATLAB te devuelve tras el entrenamiento), según variaciones sufridas en alguno de los aspectos a evaluar.

En primer lugar, se ha variado el número de datos de entrada usados para entrenar a la red. Se han utilizado desde 30 hasta 300 datos y se ha comparado el error cometido en la predicción. El objetivo de esta prueba, ha sido el de establecer la **ventana de aprendizaje óptima** para este problema.

nº datos	error
30	0,02703559
40	0,02444758
50	0,04180175
60	0,03133857
70	0,03385603
80	0,03063734
90	0,03350135
100	0,03396187
110	0,03781867
120	0,03541958
130	0,03451834
140	0,03584822
150	0,03773897
160	0,03670184
180	0,03487446
200	0,03693245
250	0,03508853
300	0,03618664
310	0,03477316

Tabla 19: error medio vs nº datos aprendizaje

En la gráfica se puede observar la variación del error usando entre 30 y 200 datos, apreciándose, visualmente, el error medio del problema planteado.

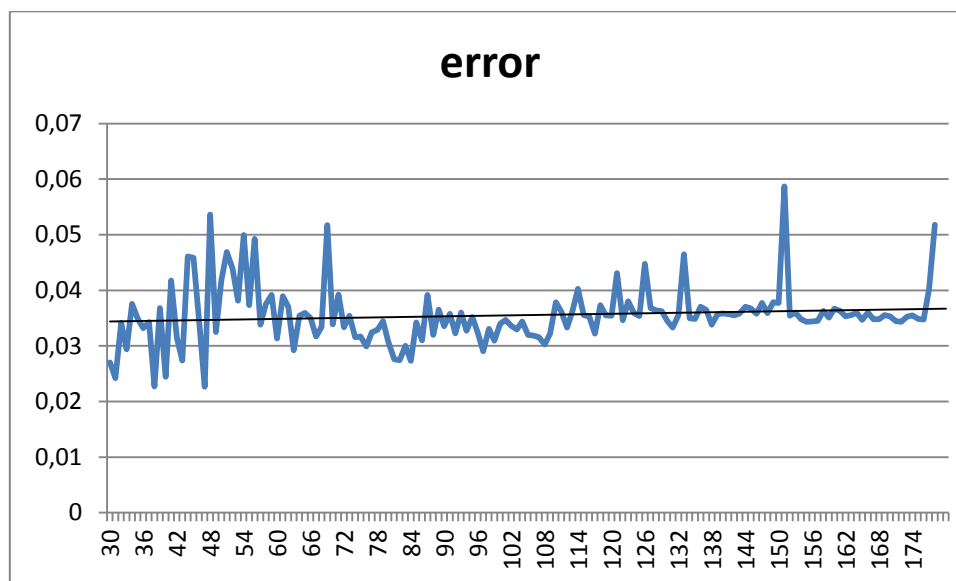


Ilustración 78: error cometido según número de datos

Por otro lado, se ha variado el **número de neuronas de las que consta la red**, comparando cómo esto hace variar el resultado (en función del error cometido en la predicción). Para ello, se ha variado número de neuronas de la red de 1 hasta 60.

El objetivo de esta prueba, ha sido el de establecer el número de neuronas óptimo para este problema (que equilibra capacidad y rendimiento).

nº neuronas	error
1	0,10980456
10	0,03222775
20	0,14484243
30	0,14324616
40	0,09002584
50	-0,02450509
51	0,00382657
52	0,24761578
53	-0,27263756
54	-0,00596541
55	-0,0282366
56	-0,34768929
57	0,10996389
58	0,26706701
59	0,08983996

Tabla 20: predicción vs neuronas 24/10/2012

nº neuronas	error
1	0,04351351
10	0,00749145
20	0,04016343
21	-0,04067736
22	0,05013971
23	-0,05392118
24	-0,00144792
25	0,01514229
26	0,03808571
27	-0,0187703
28	0,08602085
29	-0,37544216
40	-0,05639345
50	0,0793798
51	0,05596359

Tabla 21: predicción vs neuronas 19/06/2013

nº neuronas	error
1	0,02043674
10	-0,00252473
20	0,01233152
24	0,23864507
25	0,01031873
26	0,07589164
37	0,04802788
38	0,00158499
39	0,07097261
40	0,13883169
50	-0,04713473
51	-0,20185429
52	0,06202043
59	0,24332001

Tabla 22: predicción vs neuronas 02/01/2014

nº neuronas	error
1	0,04128841
10	0,04363418
20	-0,04960522
24	-0,03346935
25	-0,03187325
26	0,0016048
37	-0,09503382
38	-0,00113596
39	-0,03576508
40	-0,03366532
50	-0,03608495
51	-0,11310773
52	-0,04915959
59	-0,06602401

Tabla 23: predicción vs neuronas 20/03/2014

Por último, se ha variado el **número de datos dedicados al entrenamiento, la validación y la prueba de la red**. Estos porcentajes se han ido modificando, para el entrenamiento desde el 100% hasta el 5%, y del 0% al 47.5%, tanto para validación como prueba.

El objetivo, ha sido el de establecer cuál es el porcentaje óptimo para este problema viendo cómo afecta su variación al error cometido.

% entrenamiento	error
40	-0,98667395
45	-1,70060819
50	0,40483856
55	0,1193347
60	-0,16028598
65	0,15476232
70	-0,04027476
75	-0,02885874
80	-0,05210587
85	0,02984735
90	0,42159707
95	0,03405678
100	0,02150464

Tabla 24: predicción vs % entren. 24/10/2012

% entrenamiento	error
40	0,03083642
45	0,19170939
50	-0,16771246
55	0,12550028
60	-0,21351838
65	-0,06566446
70	-0,05736252
75	0,08673963
80	0,00437459
85	0,08226873
90	-0,07925218
95	0,02643001
100	-0,06917329

Tabla 25: predicción vs % entren. 19/06/2013

% entrenamiento	error
40	-0,10467446
45	-0,01497995
50	0,04222829
55	-0,34730245
60	0,01279377
65	-0,19655371
70	0,00446211
75	-0,02616717
80	-0,07621138
85	0,08516628
90	0,03591319
95	-0,05588683
100	0,02487607

Tabla 26: predicción vs % entren. 02/01/2014

% entrenamiento	error
40	-0,20367642
45	-0,49455903
50	0,94288339
55	-0,45237302
60	0,0174969
65	0,23155456
70	-0,06110359
75	0,01691043
80	-0,00762138
85	0,09259132
90	-0,09811319
95	0,01213565
100	0,04108406

Tabla 27: predicción vs % entren. 20/03/2014

5.1.2.2 Predicción con distintos horizontes temporales

Una vez escogida la configuración de la red, se ha procedido a comprobar el rendimiento de la misma realizando distintas predicciones. Mediante diversas muestras se ha pretendido obtener cómo afecta el aumento de un día a la fiabilidad de los resultados.

Para ello, en primer lugar **se ha predicho en t+1 para un total de 20 fechas distintas**. Se ha considerado correcto el resultado, si la predicción de subida o bajada de la rentabilidad ha sido correcta (sin importar el número exacto devuelto).

A continuación, y con el fin de comprobar cómo afecta el horizonte temporal al error cometido, es decir, hasta qué futuro pueden ser consideradas válidas las predicciones de la red, se ha predicho, usando los mismos datos anteriores, **en t+2, t+3...hasta t+10**. Al igual que el caso anterior, se ha considerado válido un resultado cuando la predicción de subida o bajada de la rentabilidad ha sido correcta.

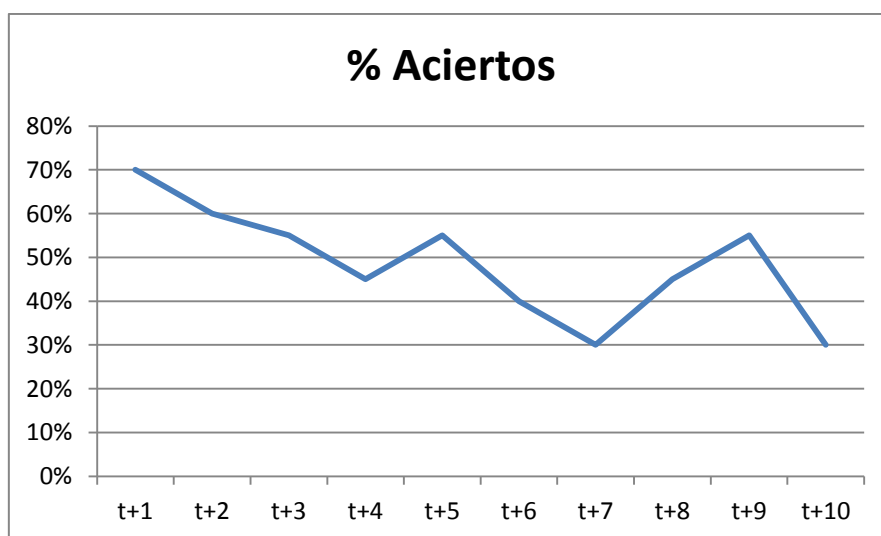


Ilustración 79: % acierto según horizonte temporal

t	t+1	t+2	t+3	t+4	t+5	t+6	t+7	t+8	t+9	t+10	Aciertos	%
22/10/2012	err	ok	ok	err	err	err	err	err	ok	err	3	30%
12/11/2012	err	ok	err	err	ok	ok	err	err	ok	ok	5	50%
17/12/2012	ok	ok	err	err	ok	err	ok	err	err	ok	5	50%
14/01/2013	ok	err	err	ok	err	err	err	err	ok	err	3	30%
18/02/2013	err	ok	err	err	ok	err	err	err	err	err	2	20%
11/03/2013	ok	err	err	ok	ok	ok	ok	err	ok	err	6	60%
22/04/2013	ok	err	ok	ok	ok	ok	err	ok	ok	err	7	70%
20/05/2013	err	err	err	err	err	ok	ok	ok	err	ok	4	40%
03/06/2013	err	err	ok	err	err	err	ok	ok	ok	err	4	40%
15/07/2013	ok	err	ok	err	err	ok	err	ok	err	ok	5	50%
26/08/2013	ok	ok	ok	ok	err	err	err	err	ok	err	5	50%
23/09/2013	ok	ok	ok	err	ok	err	err	ok	err	err	5	50%
14/10/2013	ok	err	err	ok	err	ok	err	err	err	err	3	30%
18/11/2013	ok	ok	ok	err	err	err	ok	err	ok	ok	6	60%
09/12/2013	ok	ok	ok	err	ok	ok	err	err	ok	err	6	60%
20/01/2014	err	err	ok	err	err	err	err	ok	ok	err	3	30%
03/02/2014	ok	ok	err	ok	ok	err	err	ok	err	err	5	50%
17/03/2014	ok	ok	ok	ok	ok	ok	err	ok	ok	err	8	80%
21/04/2014	ok	ok	ok	ok	ok	err	err	ok	err	err	6	60%
30/05/2014	ok	ok	err	ok	ok	err	ok	err	err	ok	6	60%
Aciertos	14	12	11	9	11	8	6	9	11	6		
%	70%	60%	55%	45%	55%	40%	30%	45%	55%	30%		

Tabla 28: matriz aciertos predicción

5.2 Discusiones

5.2.1 Curvas Cupón Cero

A través de los resultados obtenidos, se ha podido comprobar como **las Redes Neuronales Artificiales funcionan como un buen aproximador** de este tipo de funciones. Consiguen, no solo dibujar curvas más suaves si no, también, añadir más sentido a su interpretación. Esto es importante ya que uno de los requisitos fundamentales en la representación de la curva es el hecho de conseguir que esta tenga una forma coherente y suave que permita determinar los movimientos del mercado. No tiene sentido desde un punto de vista financiero que el tipo cupón cero a 12 meses sea inferior al tipo a 6 meses (caso que sí se podía observar cuando se usaba interpolación). Como ya se ha comentado, existe una prima a pagar (en términos de rentabilidad) por invertir a plazos mayores que hace que la curva sea creciente.

Por otro lado, es importante mencionar que para el correcto funcionamiento de estas redes, **se hace fundamental su configuración**, ya que la elección errónea de alguno de sus parámetros, por ejemplo, el número de neuronas a usar, puede afectar, drásticamente, su rendimiento (haciendo que los resultados ofrecidos ya no sean nada buenos).

Se ha comparado, además, el **rendimiento de los distintos métodos de aproximación, tanto con redes (Radiales y Multicapa) como con interpolación** (la más usadas en la actualidad). En este caso se puede afirmar, sin duda alguna, que las primeras son las que mejor se ajustan. Esto es debido, y tal y como se ha comentado, a su capacidad de dibujar curvas más lisas no influenciadas por desviaciones en los cálculos (por ejemplo, los picos ocasionados al realizar la transacción entre Euribor y Swaps a partir de 12 meses).

Sin embargo, es importante destacar que, si comparamos el error cometido (en términos de MSE y MAPE) es la interpolación la que ofrece mejores resultados. Esto es lógico si tenemos en cuenta que la interpolación aproxima la función pasando por todos los puntos. Si medimos el error (como en este caso) en función de los puntos calculados inicialmente, puesto que las redes aproximan la curva desviándose, ligeramente, de algunos de estos puntos (evitando irregularidades que puedan formarse) estas aumentan su error frente a la interpolación.

Mencionar también como **mejora la curva el uso de FRA para dibujar la misma** (en el caso de la interpolación). Debido a la reducción de los plazos disponibles actualmente para tipos como el Libor y el Euribor, así como su volatilidad (gran variación en los últimos años), se hace necesario usar futuros para construir la curva, en este caso, del Euro. Con estos, se puede observar como los picos de la curva se suavizan (aunque no llegan a conseguir el efecto de las RNA) mejorando los resultados. Esto consigue que, en el caso de la interpolación, sea **más útil para la valoración de productos las curvas depo-fra-swap** que aquellas que solo hacen uso de los tipos spot e IRS.

De este modo, si comparamos el error cometido por las redes, usando solo Euribor e IRS, con los datos obtenidos de realizar *Bootstrapping* usando también FRA (curva depo-fra-swap), los resultados son siempre mejores que si los comparamos con los puntos derivados de la técnica anterior, pero sin tener en cuenta futuros (curvas depo-swap). Esto es relevante ya que conforma otra muestra más del buen rendimiento de las RNA. En este caso, son capaces de

dibujar curvas más suaves usando menos datos (y por tanto introduciendo menos error en la misma).

Debido a todo esto podemos afirmar que **usando Redes Neuronales, se pueden construir curvas con menos puntos de entrada para obtener los mismos resultados** que con interpolación. Este hecho, se traduce en un menor error derivado de las técnicas *Bootstrapping* y del cálculo de factores de descuento que son necesarios para obtener puntos cupón cero en cualquiera de los dos casos.

Por otro lado, si se realiza una comparación entre métodos de la misma naturaleza, las conclusiones ya no son tan certeras.

En el caso de la interpolación, **las diferencias entre los errores cometidos usando una lineal o una exponencial no son muy relevantes**. Si se usan futuros para construir la curva, la interpolación exponencial es la que menos error comete (la curva tiene menos irregularidades y se ajusta más, por tanto a este tipo de funciones). Por el contrario, si solamente se usa Euribor e IRS para su diseño, es la interpolación lineal la que mejor resultado aporta (en este caso, la curva es más uniforme y, por tanto, es mejor unir puntos de forma lineal). Sin embargo, es importante señalar que, en ambos casos, las diferencias entre una interpolación y otra son siempre muy pequeñas, por lo que ninguna puede considerarse como una gran mejora.

Errores Cometidos			0.025
	MSE	MAPE	0.02
Lineal	2.5935e-09	0.0167	
Exponencial	2.5811e-09	0.0167	0.015
RNA Radial	8.7861e-07	-0.0764	
RNA Multi	1.9083e-07	-0.0268	0.01

Tabla 29: Errores cometidos usando FRA

En el caso de los métodos usando RNA, los resultados también son algo dispares (y en este caso con diferencias mayores entre uno y otro). Aunque, es cierto que, generalmente, son las **redes Multicapa las que permiten obtener mejores resultados**, en algunos casos, son las redes basadas en Funciones Radiales las que menos errores cometen.

Este caso se da cuando se construye la curva sin hacer uso de futuros por lo que se puede afirmar que esto es debido al menor suavizado que este segundo método realiza sobre la misma (ajustándose más en los casos en los que la función presenta más irregularidades).

Errores Cometidos			0.02
	MSE	MAPE	0.015
Lineal	1.2122e-07	-0.0435	
Exponencial	1.2127e-07	-0.0435	
RNA Radial	1.2636e-06	-0.0502	0.01
RNA Multi	1.4498e-06	0.1306	

Tabla 30: Errores cometidos SIN FRA

Esto hace pensar que, aunque para este tipo de problemas son más recomendadas las redes *feedforward*, dependiendo del tipo de *inputs* que se desee utilizar, puede ser más adecuado el uso de otro tipo de red, como la radial (todo esto en función de la forma que se desee obtener).

Continuado con las pruebas realizadas, y tras el análisis de distintas situaciones, se ha podido establecer cómo la estabilidad en el panorama financiero, así como las tendencias, afectan a la forma que adquiere la curva en un momento dado. En este caso, se ha observado como la prima de riesgo española afecta a la CCC.

Por ejemplo, si comparamos escenarios similares, con primas de riesgo parecidas, no se observan cambios entre una y otra curva. Es el caso de las CCC dibujadas para el 03/12/2012 (prima de riesgo 385 pb) y para el 07/01/2013 (prima de riesgo 358 pb). En el corto plazo ambas son, prácticamente, iguales, variando, ligeramente, en el largo plazo.

Así mismo, y tras representar la CCC en julio de 2012 (verde), cuando la prima de riesgo a nivel europeo alcanzó máximos históricos, y la CCC en julio de 2014 (roja), dónde comenzaron a apreciarse los primeros signos de recuperación (por lo menos en el panorama financiero tras la inyección de liquidez por parte del BCE), se puede observar como la primera se encuentra por encima de la segunda, representando esa **rentabilidad “extra” necesaria** dada una situación y otra.

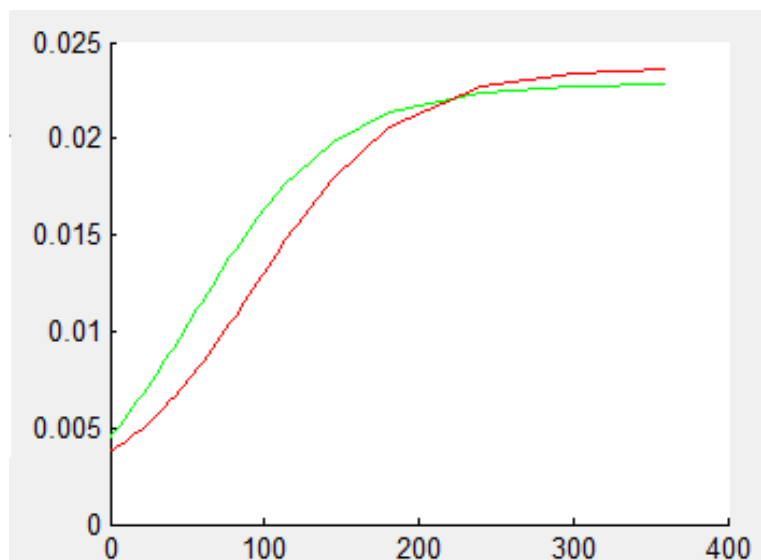


Ilustración 80: variaciones curva según prima de riesgo

Cabe destacar como **las diferencia en cuanto a rentabilidades se observan en plazos inferiores**. A medida que aumenta el horizonte temporal las curvas tienden a equipararse, llegando incluso a ser superior aquella en situación más estable. Con esto, se puede concluir que a plazos mayores a 20 años, aproximadamente, el análisis de la curva ya no es tan preciso, siendo influenciado por otras variables diferentes al panorama financiero existente en el momento de su cálculo. Por ejemplo, **en momentos más inestables, se hacen más seguras las inversiones a largo** que a corto plazo. Esto es debido a que, cuando se realizan inversiones a largo plazo se consigue alejar toda volatilidad existente a corto, gozando de más tranquilidad así como de mayores posibilidades de obtener beneficios (en teoría, un buen título debe subir

en el largo plazo). De este modo, en momentos de más inestabilidad las inversiones a largo plazo tienen menos riesgo así como beneficios casi garantizados, mientras que **en momentos más estables, las inversiones a plazos menores, permiten obtener beneficios** derivados de la situación actual (de ahí las formas de una CCC y otra).

Por otro lado, **si hacemos uso de las teorías relacionadas sobre la ETTI** (que ya se definieron en el segundo punto de este documento) para explicar movimientos en la curva, se puede corroborar cómo, tal y como se adelantó, algunas de ellas no son válidas.

Según la **teoría de expectativas del mercado**, si los inversores esperaban que se produjera una subida de los tipos a corto plazo la CCC tendría pendiente positiva mientras que, si esperaban lo contrario, sería negativa. Tras dibujar las curvas para los años 2012 y 2013 cuándo, claramente, las expectativas del mercado eran bajistas (la confianza de los inversores era mínima), **se ha verificado cómo esta seguía teniendo pendiente positiva**. Aunque si comparamos la pendiente entre, por ejemplo, una curva del 2012 y una del 2014, la de la primera es **menor**, ambas son positivas, desmontando, en consecuencia, esta teoría. Como adelantaba la **teoría de las preferencias por liquidez**, existe una prima añadida a las inversiones a largo plazo (consecuencia del valor del dinero) que hace que la ETTI siga una tendencia creciente, aun cuando las expectativas sobre el mercado son negativas. De este modo, **la opinión de los inversores afecta a la misma pero solamente suavizante su movimiento** (afecta a su pendiente), ya que la prima de riesgo a pagar afecta en mayor medida.

5.2.2 Predicción Renta Fija

En este caso, los resultados obtenidos no han sido los esperados. Por un lado, no se ha conseguido una tasa de aciertos elevada y, por otro, se ha hecho muy difícil establecer una configuración óptima de la RNA.

En aquellas fechas cercanas al pago de cupón (donde como es de esperar el precio del bono aumente y su rentabilidad baje) la red no ha sido capaz de predecir este comportamiento. Esto es debido a su ventana de aprendizaje (número de datos). Puesto que no ha sido viable usar un número de datos superior a un año donde ya se podría observar, al menos, el efecto del pago de un cupón (típicamente son pagaderos anualmente), la red no consigue, en la mayoría de los casos, predecir datos cercanos a los mismos.

En el caso del bono español usado como prueba, que paga cupón el 31/01 de cada año, la tasa de acierto en fechas próximas ha sido en torno al 30%.

De este modo, en el caso de series temporales para productos financieros, se hace **muy difícil determinar una ventana de aprendizaje fija**. Dependiendo de la fecha en la que se desee predecir y de las características propias del bono, se hace más adecuado un número de datos para el aprendizaje u otro. En el bono ejemplo analizado, se observa un error muy parecido en todos los casos, aunque sobre todo para un número entre 30 y 80 datos, es donde se producen más fluctuaciones.

Lo mismo ocurre con el número de neuronas óptimo a usar. En el ejemplo analizado, este varía entre 20 y 50, confirmando de nuevo que el error de este problema viene determinado por

otra serie de factores externos (como la variabilidad de los datos en un momento de tiempo determinado).

Si nos centramos en el porcentaje de datos dedicados a entrenamiento y validación, se observa una mayor relación con el error cometido (que en los casos anteriores). Como era de esperar, en general, porcentajes más bajos en el número de datos de entrenamiento afectan de forma negativa a este error. Así mismo, no usar ningún dato para validación y prueba también empeora el rendimiento. De este modo, se hace necesario encontrar un equilibrio entre ambos, habiendo sido establecido en un 80% para los datos y un 20%, repartido a partes iguales, entre validación y prueba.

Por último, mencionar que no existe una relación perfecta entre predicción y horizonte temporal. En el total de los datos de la muestra se han observado múltiples comportamientos (aciertos en $t+10$ y fallos en $t+1$, por ejemplo, aciertos o fallos en todos los casos...). Se establece, por tanto, que la predicción depende más de la naturaleza y movimiento de los datos que del horizonte temporal que se aplique. Si bien es cierto, para la muestra seleccionada de 20 fechas, los mejores resultados se han obtenido en $t+1$ (con un 70% de aciertos).

De este modo, y tras los resultados obtenidos, se puede considerar este análisis como una primera aproximación para predecir valores que, aunque necesita ser mejorada, sí puede ser tomada como un buen punto de partida. Se hace necesario, en consecuencia **introducir una serie de factores externos** que permitan que la predicción consiga una tasa de acierto sino igual al 100% lo más cercana a esta. Además, mencionar que los datos históricos que se han utilizado para comprobar su funcionamiento han ido desde 2012 hasta 2013. Dadas las fluctuaciones sufridas en el panorama financiero en los últimos años, también es de esperar que la predicción haya sido mucho más difícil que si se hubieran tomado datos en una situación más estable.

6 Conclusiones y futuros trabajos

A continuación se detallan las conclusiones finales de este proyecto. Para ello, se enfocan las mismas desde dos puntos de vista distintos: por un lado conclusiones más cuantitativas acerca del rendimiento del sistema y resultados conseguidos; por otro, un análisis cualitativo de las soluciones aportadas en este documento, ofreciendo una visión financiera a los mismos.

En ambos casos, se pretende determinar qué objetivos de los nombrados en la introducción han podido ser resueltos, cuáles no y los motivos, y los recursos que han sido necesarios para su consecución.

Por otro lado, y también en esta sección, se realiza una breve reflexión sobre cuáles son los aspectos que este proyecto deja abiertos: qué posibilidades de mejora existen, qué otros trabajos se pueden deducir de este y, lo más importante, cómo estas conclusiones pueden ser usadas por otros alumnos en sus futuros proyectos.

6.1 Conclusiones:

Esta primera sección detalla, tal y como se ha comentado, las conclusiones financieras y técnicas extraídas de la elaboración de este proyecto.

6.1.1 Conclusiones técnicas

Al principio de este proyecto, fueron varios los objetivos que se fijaron respecto a la parte más técnica del mismo (objetivos informáticos).

Por un lado, se pretendía **comprobar el rendimiento de las Redes Neuronales Artificiales** en la aproximación de funciones, usando las mismas para la construcción de la CCC. Para lograr este objetivo, y determinar cómo de eficiente es su uso, se han realizado varias pruebas (ya comentadas en el punto anterior). Tras el análisis, se ha podido corroborar cómo estas **son una buena alternativa a las técnicas tradicionales** (típicamente interpolación) y cómo logran su objetivo, dibujar curvas más suaves introduciendo un error menor (que dada la magnitud de los datos sí puede considerarse relevante).

Por otro lado, el segundo objetivo de este proyecto, estaba relacionado con el **uso de Redes Neuronales para la predicción de valores de Renta Fija**. En este caso, y tal y como se ha comentado a lo largo de este documento, se ha hecho uso de la herramienta que ofrece MATLAB para su diseño.

Mencionar que, en este caso, **los resultados no han sido tan satisfactorios** como se pensaron en un inicio. No se ha conseguido obtener una tasa de acierto cercana al 100% (ni tan siquiera para la predicción en $t+1$) por lo que el objetivo, no puede considerarse como alcanzado.

Es importante destacar que, **lo que sí ha permitido su uso es evaluar cómo son de eficientes** las redes que MATLAB proporciona en la predicción de este tipo de valores. En este caso, donde se ha querido ir más allá prediciendo, no solo bonos cupón cero sino todo tipo de Renta Fija, su rendimiento no ha sido el adecuado. Se hace muy difícil establecer **una ventana de aprendizaje óptima** en todos los casos y, además, en aquellas fechas cercanas al pago de cupón la red no ha sido capaz de predecir este comportamiento

El último de los objetivos que se planteó en la introducción, fue el de diseñar una interfaz sencilla que permitiría interactuar con el sistema diseñado. En este caso, únicamente señalar que esto ha sido posible gracias a la herramienta GUIDE que MATLAB proporciona. Puesto que en este caso su diseño y usabilidad no han sido los principios que han regido su desarrollo, únicamente destacar su correcto funcionamiento. Esto ha permitido, poder realizar las pruebas y análisis necesarios de una forma más rápida e intuitiva.

6.1.2 Conclusiones analíticas

Estas conclusiones se centran en los aspectos financieros que pueden derivarse, principalmente, de las CCC diseñadas en este proyecto.

En primer lugar, y así se estableció como objetivo principal al inicio del documento, se han podido **construir Curvas Cupón Cero para el Euro** para distintas fechas. Se ha aplicado correctamente la técnica *Bootstrapping*, usando, para ello, datos sobre tipos del mercado interbancario (“depos”, FRA e IRS) por considerarse de gran liquidez.

Así mismo, y como se estableció al inicio, se ha podido realizar un **análisis de cómo han influido las diferentes situaciones** acontecidas en los últimos años a los movimientos en la ETTI. Se ha podido observar cómo aquellos **periodos de más inestabilidad, han provocado un aumento en los tipos cupón cero** y aquellos con menor crisis una disminución de los mismos. Esto era de esperar dada la teoría ya que, en aquellos momentos peores, desde un punto de vista económico, se requiere de una mayor rentabilidad (o prima) para cubrir el posible riesgo de inversión a plazo.

Mediante las diversas curvas generadas, también se ha podido comprobar cómo algunas de **las teorías relacionadas sobre la ETTI** (que ya se definieron en el segundo punto de este documento) no son válidas.

Por último, mencionar como **mejora la curva el uso de FRA para dibujar la CCC**. Uno de los requisitos fundamentales en la representación de la curva es el hecho de conseguir que esta tenga una forma coherente y suave que permita determinar los movimientos del mercado. Se puede observar como mejoran los resultados haciendo, en consecuencia, **más útil para la valoración de productos las curvas depo-fra-swap** que aquellas que solo hacen uso de los tipos spot e IRS.

6.1.3 Conclusiones generales

Analizando este proyecto desde un punto de vista general, se puede decir que se han conseguido los **principales objetivos que motivaron la realización del mismo**.

Se ha podido demostrar como el uso de la **Inteligencia Artificial puede ser de gran utilidad** en un área como la Financiera. Los resultados conseguidos han demostrado que las **Redes Neuronales Artificiales son una buena alternativa** para la resolución de la problemática planteada, abriendo un nuevo camino de investigación, en contraposición con los estudios realizados anteriormente.

6.2 Futuros trabajos:

Esta segunda parte, detalla aquellos campos de investigación que este proyecto deja abiertos, así como posibles mejoras en el desarrollo, consiguiendo ampliar el alcance del mismo.

6.2.1 Diseño Curva Cupón Cero

Las mejoras propuestas, así como futuros trabajos relaciones con la CCC pueden encuadrarse en dos bloques diferentes: por un lado, las relacionadas con los métodos de aproximación a usar y, por otro, con los *inputs* que permitan dibujarla.

Por un lado, continúan existiendo **otras técnicas de aproximación** que pueden usarse para su construcción. Sería conveniente usar más métodos con el fin de determinar aquellos que mejor se adecuen a su forma. En este proyecto sólo se han evaluado técnicas relacionadas con Redes Neuronales Artificiales (en contraposición a los métodos clásicos de interpolación). Sin embargo, también sería interesante abordar otras técnicas basadas en Inteligencia Artificial como, por ejemplo, los **algoritmos genéticos**. Existen técnicas para la construcción de la CCC como la curva de Svensson o Nielson-Siegel que permiten dibujar la misma, y que pueden ser implementados usando este tipo de algoritmos. De este modo serían interesantes las conclusiones que podrían extraerse de la comparación de todas estas metodologías con el fin de determinar la solución óptima.

Otro aspecto interesante sería el de la construcción de la curva para **otras divisas** diferentes al Euro. Esto permitiría, por un lado, comparar cómo la volatilidad en los tipos de cambio puede afectar a la ETTI. Por ejemplo, es de esperar que la CCC para el Dólar (menos volátil en los últimos años que el Euro) presente una estructura más suave y plana. Así mismo, disponer de curvas para distintas divisas, permitiría, además, valorar productos más complejos como pueden ser Swaps en los que cada pata está expresada en una moneda diferente.

6.2.2 Otras aplicaciones Curva Cupón Cero

Como ya comenté en uno de los puntos de este documento, son muchas las aplicaciones que la CCC puede tener. Aunque en este proyecto ha sido utilizada para predecir valores futuros de activos de Renta Fija, esta podría **usarse como punto de partida para otros trabajos futuros** donde se desee, en función de esta, obtener otros datos.

Por ejemplo, sería interesante usar la CCC en la **valoración de empresas**. Esta permite conocer cuál es la prima que un bono determinado está pagando en el mercado. Puesto que esto no es más que la cantidad que debe pagar un emisor porque un inversor compre su deuda (y por tanto asuma un riesgo), podrá permitir emitir una opinión sobre la calidad crediticia del mismo. En este sentido, puede investigarse si esto podría ser una buena forma de calificar, incluso mediante ratings, a las distintas empresas (y compararla con calificaciones que agencias especializadas dan a las mismas).

Otra rama a la investigación sería la de evaluar cómo formas de la CCC afectan, en el futuro, al mercado. Por ejemplo, **aprovechar las posibles “chepas” que pueda presentar la curva**, para invertir ya que las mismas tienden a alisarse. Esto permitiría analizar los resultados desde otro punto de vista identificando zonas de la curva donde se producen estas perturbaciones.

Por último, la curva puede utilizarse para **valorar productos relacionados con tipos de interés**. Puesto que la CCC permite determinar, por ejemplo, si se espera que a un plazo determinado un tipo vaya a aumentar o disminuir, podemos conocer si en el presente existe el riesgo de que los tipos vayan a caer en el futuro (y por tanto ocasionar pérdidas). De este modo, otra área de investigación estaría relacionada con la búsqueda de estas oportunidades de inversión, adquiriendo futuros a tipos de interés beneficiosos según las expectativas del mercado que se predigan.

6.2.3 Predicción valores de Renta Fija

Tal y como he indicado en la conclusiones, este es quizás el aspecto que más oportunidades de mejora ofrece, dados los resultados obtenidos.

En mi opinión, el principal trabajo derivado de esto, consiste en la **inclusión de determinadas variables externas** para la predicción que afectan a la valoración. En este sentido, sería interesante incluir variables tales como el pago de cupón, que permitan determinar cómo este afecta en el valor (por ejemplo, a menos de un mes del pago, el precio del bono, ante mismas circunstancias, comienza a caer un 1%).

Otro posible aspecto de mejora, sería el de evaluar nuevas **técnicas de predicción**, que permitan comparar resultados con los obtenidos usando las Redes Neuronales de MATLAB (o incluso usando redes MATLAB pero de un tipo diferente a las utilizadas).

En consecuencia, y a modo resumen, el objetivo en este caso sería el de implementar mejoras que permitieran **disminuir considerablemente la tasa de fallos de este sistema**. En caso de mejorar, se podría ampliar, incluso, esta predicción para que permitiera cuantificar no solo si se espera que el precio vaya a subir o bajar, sino también **en qué cantidad va a hacerlo**.

6.2.4 Interfaz de usuario

Enfocando estas mejoras desde un punto de vista de usuario, sería interesante, también, crear una interfaz (incluso en una plataforma distinta a MATLAB) con un aspecto más amigable.

En este sentido, podría **incluirse este módulo de cálculo de curvas** en otra aplicación, enfocada a otro aspecto (por ejemplo, que obtuviera precios de mercado de determinados productos), o bien crear una nueva (o mejorar la existente) de modo que pudiera ser usada por cualquier usuario, no solo de cara a la investigación, prueba y análisis (como ha sido el caso en este proyecto) sino, también, con otros fines.

De este modo sería necesario hacer el sistema independiente de un terminal Bloomberg®, de modo que este pudiera ser utilizado y ejecutado desde cualquier máquina. Una forma sería el de confeccionar una **base de datos propia** con los datos necesarios para cada día, de modo que esta pudiera ser accedida por cualquier usuario bajo petición, y sin necesidad de conectarse al servidor propio de Bloomberg®.

7 Bibliografía

- [1] AIS, *Gestión de riesgo de crédito | AIS - Aplicaciones de Inteligencia Artificial*. Disponible en: <http://www.ais-int.com/productos-y-servicios/finanzas/gestion-riesgo-credito> (Consultado: 12 Diciembre 2014)
- [2] expansion.com (2014) Renta fija: Productos para ganar con deuda. Disponible en: <http://www.expansion.com/2014/04/27/midinero/1398625650.html> (Consultado: 9 Enero 2015)
- [3] CNMV, *¿Qué riesgos se asumen al comprar renta fija?* Disponible en: <http://www.cnmv.es/Portal/Inversor/RentaFija-Riesgos.aspx> (Consultado: 10 Diciembre 2014)
- [4] BLESSIG, M.-N. (2015) La revalorización brutal del franco impacta de lleno en la economía suiza. Disponible en: <https://es.finance.yahoo.com/noticias/bolsa-suiza-cae-3-fuerte-091116921.html> (Consultado: 9 Enero 2015)
- [5] Vozpopuli (2015) ¿Tiene sentido invertir en bonos con rentabilidad negativa? Las cinco razones de Robeco que lo justifican. Disponible en: <http://vozpopuli.com/fondos/58121-tiene-sentido-invertir-en-bonos-con-rentabilidad-negativa-las-cinco-razones-de-robeco-que-lo-justifican> (Consultado: 11 Diciembre 2014)
- [6] Roig, M. (2013) Bruselas impone la mayor multa a la banca europea por manipular el euribor Bruselas impone la mayor multa a la banca europea por manipular el euribor
- [7] Trippi, R. R. and Turban, E. (1992) *Neural Networks in Finance and Investing: Using Artificial Intelligence to Improve Real World Performance*. Disponible en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=573193> (Consultado: 29 Noviembre 2014)
- [8] Schutzer, D. (2015) *CTO Corner: Artificial Intelligence Use in Financial Services - Financial Services Roundtable*. Disponible en: <http://fsroundtable.org/cto-corner-artificial-intelligence-use-in-financial-services/> (Consultado: 20 Abril 2015)
- [9] Comisión Nacional del Mercado de Valores , Funciones. Disponible en: <http://www.cnmv.es/portal/quees/Funciones/Funciones.aspx> (Consultado: 10 Diciembre 2014)
- [10] Baena Tovar, N. (2006) Valor de realización de los activos de renta fija privada en los fondos de inversión
- [11] Gobierno de España (1988) Ley 24/1988, de 28 de julio, del Mercado de Valores.
- [12] Comisión Nacional del Mercado de Valores (2011) Circular 6/2011, de 12 de diciembre
- [13] Banco Central Europeo, *ECB: ECB mission*. Disponible en: <https://www.ecb.europa.eu/ecb/orga/escb/ecb-mission/html/index.en.html> (Consultado: 15 Diciembre 2014)

- [14] Banco de España, *Banco de España - Supervisión - Normativa y criterios supervisores aplicables a las entidades supervisadas - Regulación básica*. Disponible en: <http://www.bde.es/bde/es/areas/supervision/normativa/regulacion/> (Consultado: 15 Diciembre 2015)
- [15] SESF, *El Sistema Europeo de Supervisión Financiera (SESF)*. Disponible en: http://www.europarl.europa.eu/aboutparliament/es/displayFtu.html?ftulid=FTU_3.2.5.html (Consultado: 11 Enero 2015)
- [16] Bloomberg Professional Service (the Terminal) | Bloomberg Finance LP. Disponible en: <http://www.bloomberg.com/professional/> (Consultado: 18 Enero 2015)
- [17] ADR Formación, *Curso de Operaciones Financieras, Lección 1: Clasificación de los mercados financieros*. Disponible en: <http://www.adrformacion.com/cursos/operafin/leccion1/tutorial8.html> (Consultado: 15 Diciembre 2015)
- [18] José Luis, M. G. and Ricardo Javier, P. Z. Diccionario Económico: Mercado de Renta Fija. Disponible en: <http://www.expansion.com/diccionario-economico/mercado-de-renta-fija.html> (Consultado: 17 Diciembre 2014)
- [19] Bolsas y Mercados españoles SISTEMA BURSÁTIL. Disponible en: <http://www.bmerf.es/esp/asp/Portadas/HomeSBursatil.aspx> (Consultado: 17 Diciembre 2014)
- [20] Renta 4, Qué es Renta Fija, tipos de deuda pública y privada. Disponible en: <http://www.r4.com/productos/renta-fija/renta-fija-que-es> (Consultado: 8 Diciembre 2014)
- [21] BME Renta Fija Disponible en: <http://www.bmerf.es/esp/asp/Portadas/Home.aspx> (Consultado: 17 Diciembre 2014)
- [22] Fernández Valbuena, S. and Servicios de Estudios de AIAF Mercado de Renta Fija y de SENAF Cómo invertir en Renta Fija. Disponible en: <http://www.bmerf.es/docs/esp/Documentos/Comoinvertirenrentafija.pdf> (Consultado: 17 Diciembre 2014)
- [23] Bolsas y Mercados españoles MERCADO AIAF. Disponible en: <http://www.bmerf.es/esp/asp/Portadas/HomeAIAF.aspx> (Consultado: 17 Diciembre 2014)
- [24] Bolsas y Mercados españoles DEUDA CORPORATIVA. Disponible en: <http://www.bmerf.es/esp/asp/Portadas/HomeSEND.aspx> (Consultado: 17 Diciembre 2014)
- [25] Bolsas y Mercados españoles SENAF. Disponible en: <http://www.bmerf.es/esp/asp/Portadas/HomeSENAF.aspx> (Consultado: 8 December 2014)
- [26] Bolsas y Mercados españoles MARF. Disponible en: <http://www.bmerf.es/esp/asp/Portadas/HomeMARF.aspx> (Consultado: 17 December 2014)

- [27] PIMCO (2005) Todo lo que necesitas saber sobre Renta Fija. Disponible en: http://media.pimco.com/ESDocuments/BAS062-102011_ES.pdf (Consultado: 11 Enero 2015)
- [28] Monografías: Informes para empresarios, *Intermediarios financieros*. Disponible en: <http://82.165.131.239/hosting/empresa/general/monografias/Monografia151.pdf> (Consultado: 10 Enero 2015)
- [29] Banco de España - Sistemas de pago - Sistemas de pago al por mayor - TARGET2-Banco de España. Disponible en: http://www.bde.es/bde/es/areas/sispago/sis_pago_may/TARGET2-Banco_de/ (Consultado: 2 Febrero 2015)
- [30] Fernández, F. (2009) *El mercado interbancario y los derivados de tipo de interés FRA y Eonias*
- [31] Media, T. Eonia - tipos de interés actuales e históricos. Disponible en: <http://es.global-rates.com/tipos-de-interes/eonia/eonia.aspx> (Consultado: 9 Febrero 2015)
- [32] Media, T. Euribor - tipo actual de interés Euribor. Disponible en: <http://es.global-rates.com/tipos-de-interes/euribor/euribor.aspx> (Consultado: 9 Febrero 2015)
- [33] Rankia (2009) Eonia y Euribor, ¿en qué se diferencian?
- [34] Berenger Cárceles, E. (2009) *La estimación de la estructura temporal de los tipos de interés: metodología y aplicaciones*
- [35] Choudhry, M. (2008) *The yield curve, and spot and forward interest rates*
- [36] Abad Romero, P. and Robles Fernández, M. D. (2003) *Estructura Temporal de los Tipos de Interés: Teoría y Evidencia empírica*
- [37] Media, T. LIBOR, información detallada sobre el London InterBank Offered Rate. Disponible en: <http://es.global-rates.com/tipos-de-interes/libor/libor-informacion-de-fondo.aspx> (Consultado: 9 Febrero 2015)
- [38] Banco Santander SA and Incompany® (2013) *Productos de mercados financieros: Valoración. Técnicos de Riesgos de Mercado*
- [39] Marín, J.M. *Introducción a las redes neuronales aplicadas*
- [40] Santana, J. C. (2008) La curva de rendimientos: una revisión metodológica y nuevas aproximaciones
- [41] San Millán Martín, M. A. Tema2: *La renta fija. Valoración y gestión de carteras de renta fija. Bolsas y Mercados Financieros*
- [42] Mascareñas, J. (2013) 'La estructura temporal de los tipos de interés', in Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas. Universidad Complutense de Madrid
- [43] País, E. E. and Mars, A. (2015) ¿Pero en qué nos afecta la dichosa prima de riesgo? Disponible en:

http://economia.elpais.com/economia/2015/01/02/actualidad/1420194225_552848.html

(Consultado: 11 Marzo 2015)

[44] País, E. E. and Mars, A. (2015) Draghi liquida la prima de riesgo. Disponible en:

http://economia.elpais.com/economia/2015/03/01/actualidad/1425241970_661082.html

(Consultado: 15 Marzo 2015)

[45] Sosa Sierra, M. del C. (2006) Introducción a las técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión financiera empresarial

[46] CincoDias, E. (2007) El próximo Warren Buffett estará hecho de silicio. Disponible en:

http://cincodias.com/cincodias/2007/06/09/mercados/1181350901_850215.html

(Consultado: 8 December 2014)

[47] Nikolopoulos, C. and Fellrath, P. (1994) 'A hybrid expert system for investment advising', *Expert Systems*, 11(4), pp. 245–250. doi: 10.1111/j.1468-0394.1994.tb00332.x

[48] De Andrés Suarez, J. (2000) *Técnicas de inteligencia artificial aplicadas al análisis de la solvencia empresarial*

[49] Silvana Navales, E. (2012) *Una revisión sistemática acerca de las metodologías para el pronóstico de índices de mercado: su estado actual y tendencias futuras*

[50] Wong, F. S., Wang, P. Z., Goh, T. H. and Quek, B. K. (1992) 'Fuzzy Neural Systems for Stock Selection', *Financial Analysts Journal*, 48(1), pp. 47–52. doi: 10.2469/faj.v48.n1.47

[51] Aldabas-Rubira, E. (2002) *Introducción al reconocimiento de patrones mediante redes neuronales*

[52] Jabbour, G., Márquez, R. and Lisbeth, R. (2010) *Reconocimiento de firmas of f-line mediante máquinas de vectores de soporte*

[53] SINC (2015) *Un modelo de redes neuronales predice si un banco puede quebrar / Noticias / SINC*. Disponible en: <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Un-modelo-de-redes-neuronales-predice-si-un-banco-puede-quebrar> (Consultado: 10 Mayo 2015)

[54] Bonilla, M., Marco, P. and Olmeda, I. (2002) *REDES NEURONALES ARTIFICIALES: Predicción de la volatilidad del tipo de cambio de la peseta*

[55] Joan, B., Lluís, G. and Sergio, G. (1997) *Predicción de índices de futuros financieros mediante redes neuronales*

[56] Aragón Torre, A., Calzada Arroyo, J. M., García Güemes, A. and Paquecho Bonrostro, J. *Aplicaciones de redes neuronales en economía*

[57] Oliver Muncharaz, J. (2013) *Modelización de la volatilidad condicional en índices bursátiles comparativa modelo EGARCH versus Red Neuronal backpropagation*

[58] Magda Gabriela, S. T., Ismael, A. S. and Alfredo, C. T. *Análisis económico - financiero de los modelos de predicción de quiebra y la probabilidad de quiebra*

- [59] Acosta González, E. and Fernández Rodríguez, F. *Predicción del fracaso empresarial mediante el uso de algoritmos genéticos*
- [60] Sanchez, J. A. (2000) ESTIMACIÓN DE LOS INTERESES FUTUROS MEDIANTE NÚMEROS BORROSOS.
- [61] Sanz Montero, D. (2005) *89 Aplicación de la lógica difusa al cálculo de reservas: método M3*
- [62] Milanesi, G. S. (2014) 'Valoración probabilística versus borrosa, opciones reales y el modelo binomial. Aplicación para proyectos de inversión en condiciones de ambigüedad', *Estudios Gerenciales*, 30(132), pp. 211–219. doi: 10.1016/j.estger.2014.01.018
- [63] Enríquez, P., Marco, Méndez, C. and Alexandra, G. (2008) *Control lógico difuso: Modelo de control de inventario aplicado a una fábrica de producción*. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1035> (Consultado: 13 Febrero 2015)
- [64] Shen, L. and Loh, H. T. (2004) 'Applying rough sets to market timing decisions', *Decision Support Systems*, 37(4), pp. 583–597. doi: 10.1016/s0167-9236(03)00089-7
- [65] DSpace, Trujillo, S., Gabriela, M. and Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (2012) *Capítulo en finanzas. El Modelo Ratio Ponderado de Valoración RPV en la Predicción del Fracaso Empresarial en Micro y Pequeñas Empresas*. Disponible en: <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/7307> (Consultado: 13 Febrero 2015)
- [66] Van den Poel, D. (1998) 'Rough Sets for Database Marketing', *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, pp. 324–335. doi: 10.1007/978-3-7908-1883-3_17
- [67] Merino, M. and Vadillo, F. (2007) *Matemática financiera con MATLAB c ©*
- [68] MathWorks (2015) Products & Services. Financial Toolbox. Disponible en: <http://es.mathworks.com/products/finance/> (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [69] Castro, C. (2010) *Métodos Numéricos aplicados a la Ingeniería: Aproximación funcional e interpolación*
- [70] Multicapa Sobreaprendizaje Perceptron Neuronas (2012) Disponible en: <http://www.lab.inf.uc3m.es/~a0080630/redes-de-neuronas/perceptron-multicapa.html> (Consultado: 11 Febrero 2015)
- [71] Redes de Base Radial (2012) Disponible en: <http://www.lab.inf.uc3m.es/~a0080630/redes-de-neuronas/base-radial.html> (Consultado: 11 Febrero 2015)
- [72] González Casimiro, M. P. (2009) *Técnicas de predicción económica*

- [73] Olmedo, E., Valderas, J. M., Mateos, R. and Gimeno, R. (2004) 'Utilización de redes neuronales en la caracterización, modelación y predicción de series temporales económicas en un entorno complejo', *INTELIGENCIA ARTIFICIAL*, 8doi: 10.4114/ia.v8i23.789
- [74] Santana, J. C. (2006) *Predicción de series temporales con redes neuronales: una aplicación a la inflación colombiana*
- [75] Escobar R, L., Valdés H, J. and Zapata C., S. (2010) *Redes Neuronales Artificiales en predicción de Series de Tiempo. Una aplicación a la Industria*
- [76] MathWorks (2015) Redes Neuronales Artificiales con MATLAB. Disponible en: <http://es.mathworks.com/discovery/redes-neuronales.html> (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [77] MathWorks (2015) *Parallel Computing Toolbox*. Disponible en: http://es.mathworks.com/help/distcomp/index.html?s_tid=srchtitle (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [78] MathWorks (2015) Feedforwardnet. Disponible en: <http://es.mathworks.com/help/nnet/ref/feedforwardnet.html> (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [79] Murphy, P. M. and Aha, D. W. (1994) UCI Repository of machine learning
- [80] MathWorks (2015) Radial Basis Neural Networks. Disponible en: <http://es.mathworks.com/help/nnet/ug/radial-basis-neural-networks.html> (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [81] MathWorks (2015) Radial Basis Approximation. Disponible en: <http://www.mathworks.com/examples/neural-network/1896-radial-basis-approximation> (Consultado: 11 Marzo 2015)
- [82] MathWorks (2015) Neural Network Time Series Prediction and Modeling. Disponible en: <http://es.mathworks.com/help/nnet/gs/neural-network-time-series-prediction-and-modeling.html> (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [83] MathWorks (2015) GUI de MATLAB. Disponible en: <http://es.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html> (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [84] Ataurima Arellano, M. (2014) Creación de Interfaces Gráficas con MATLAB GUIDE - UNI FIECS - Documents. Disponible en: <http://myslide.es/documents/creacion-de-interfaces-graficas-con-matlab-guide-uni-fiecs.html> (Consultado: 27 Febrero 2015)
- [85] MathWorks (2015) Datafeed Toolbox. Disponible en: <http://es.mathworks.com/help/datafeed/index.html> (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [86] MathWorks (2015) Spreadsheet Link EX. Disponible en: <http://es.mathworks.com/help/exlink/> (Consultado: 10 Marzo 2015)
- [87] MathWorks (2015) *Create COM server*. Disponible en: <http://es.mathworks.com/help/matlab/ref/actxserver.html> (Consultado: 10 Marzo 2015)



[88] MathWorks (2015) Export to Excel Spreadsheets. Disponible en:
http://es.mathworks.com/help/matlab/import_export/exporting-to-excel-spreadsheets.html
(Consultado: 10 Marzo 2015)

9 Anexos

9.1 Anexo I: Acrónimos y definiciones

9.1.1 Acrónimos

- **AIAF:** Asociación de Intermediarios de Activos Financieros.
- **BCE:** Banco Central Europeo
- **BME:** Bolsas y Mercados Españoles
- **CADE:** Central de Anotaciones del Banco de España
- **CNMV:** Comisión Nacional del Mercado de Valores
- **CVaR:** Conditional Value At Risk. En Español: Valor En Riesgo
- **DIT:** Depósitos Interbancarios Transferibles
- **EAMP:** Error Absoluto Medio Porcentual
- **ETTI:** Estructura Temporal de los Tipos de Interés
- **FRA:** Forward Rate Agreement
- **GARCH:** Generalized AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity
- **GPU:** Unidad de Procesamiento Gráfico
- **GUI:** Graphic User Interface. En Español: Interfaces Gráficas de Usuario
- **IA/AI:** Inteligencia Artificial/Artificial Intelligence
- **IRS:** Interest Rate Swap. En Español: Swap de Tipo de Interés
- **ISIN:** en español: Número de Identificación Internacional de Activos
- **MARF:** Mercado Alternativo de Renta Fija
- **P.B:** Puntos Básicos
- **R:** Coeficiente de Correlación
- **RNA:** Red de Neuronas Artificial
- **SAM:** Santander Asset Management
- **SBCE:** Sistema Europeo de Banco Centrales
- **SENAF:** Sistema Electrónico de Negociación de Activos Financieros
- **SEND:** Sistema Electrónico de Negociación de Deuda
- **SESF:** Sistema Europeo de Supervisión Financiera
- **SIA:** Security Industry Association
- **TARGET2/SWIFT:** System Worldwide International Financial Transactions
- **TIR:** Tasa Interna de Rentabilidad
- **VPN:** Virtual Private Network. En Español: Red Virtual Privada
- **UE:** Unión Europea.

9.1.2 Definiciones

- **Active X Control:** entorno para definir componentes de software reusables de forma independiente del lenguaje de programación. Las aplicaciones de software pueden ser diseñadas por uno o más de esos componentes para así proveer su correspondiente funcionalidad.
- **Adverso al riesgo (Finanzas):** consumidor que prefiere aceptar una oferta con poco riesgo antes que otra con algo más de riesgo pero con mayor rentabilidad.
- **Agente económico:** sujetos activos más elementales o primarios del proceso económico: consumidores o economías domésticas, unidades económicas de producción o empresas y Estado.
- **Algoritmo de Optimización:** problemas que buscan maximizar/minimizar una variable J para una cierta combinación de variables x
- **Algoritmo de Optimización Levenberg-Marquardt:** modificación del método de Newton, diseñado para minimizar funciones que sean la suma de los cuadrados de otras funciones no lineales; es por ello que el algoritmo de Levenberg - Marquardt, tiene un excelente desempeño en el entrenamiento de redes neuronales donde el rendimiento de la red esté determinado por el error medio cuadrático.
- **Arbitraje (Economía):** práctica de tomar ventaja de una diferencia de precio entre dos o más mercados: realizar una combinación de transacciones complementarias que capitalizan el desequilibrio de precios. La utilidad se logra debido a la diferencia de precios de los mercados.
- **Arquitectura cliente-servidor:** modelo de aplicación distribuida en el que las tareas se reparten entre los proveedores de recursos o servicios, llamados servidores, y los demandantes, llamados clientes. Un cliente realiza peticiones a otro programa, el servidor, quien le da respuesta.
- **Banco Central Europeo:** banco central de la moneda única europea, el euro. Su función principal consiste en mantener el poder adquisitivo del euro y, con ello, la estabilidad de precios en la zona del euro
- **Banco de España:** organismo del Estado español que actúa de banco central nacional y supervisor del sistema bancario español. Su actividad está regulada por la Ley de Autonomía del Banco de España.
- **Base de Cálculo:** número de días utilizado para aplicar el interés en una operación financiera.

- **Benchmark (Finanzas):** indicador financiero compuesto por productos, servicios y procesos de trabajo que pertenezcan a organizaciones que evidencien las mejores prácticas sobre el área de interés, con el propósito de transferir este conocimiento.
- **Bolsa de Madrid:** principal mercado de valores de España
- **Bono:** instrumento financiero de deuda utilizado por entidades privadas y por entidades de gobierno y que sirve para financiar a las mismas.
- **Bonos convertibles:** activo financiero de Renta Fija con la característica especial de que existe la posibilidad de convertir el valor del bono en acciones de la empresa de nueva emisión (creadas mediante una ampliación de capital). Siempre son emitidos por empresas privadas
- **Brainstormig:** herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. Permite generar ideas originales en un ambiente relajado.
- **C++:** lenguaje de programación
- **Cadena de abastecimiento:** conjunto de actividades relacionadas con la transformación de un bien.
- **Calidad crediticia:** capacidad de una empresa o entidad pública para hacer frente a sus compromisos de pago futuros.
- **Capacidad Financiera:** posibilidad de una empresa para cumplir con sus pagos así como realizar inversiones a corto, mediano y largo plazo, de modo que permitan su desarrollo y crecimiento.
- **Capital económico:** la cantidad de "capital en riesgo" determinada sobre una base realista, que una entidad requiere para cubrir los riesgos a los que está sometida.
- **Cartera (Finanzas):** combinación de activos financieros en los cuales se invierte y que permite la diversificación del riesgo.
- **Cluster:** conjuntos o conglomerados de computadoras contruidos mediante la utilización de hardwares comunes y que se comportan como si fuesen una única máquina.
- **Coefficiente de Correlación:** medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas.
- **COM Automation Server:** protocolo que permite que una aplicación controle objetos exportados de otra aplicación.
- **Comisión Nacional del Mercado de Valores:** organismo encargado de la supervisión e inspección de los mercados de valores españoles.

- **Computación Evolutiva:** rama de la Inteligencia Artificial que involucra problemas de optimización combinatoria. Se inspira en los mecanismos de la evolución biológica.
- **Conditional Value At Risk (CVaR):** medida de riesgo que permite cuantificar el mismo en unidades monetarias.
- **Corto Plazo:** horizonte temporal menor a un año.
- **Cuenta de Valores:** similar a una cuenta corriente, pero de activos, permite invertir en bolsa.
- **Cupón corrido:** parte del precio de compra o cotización del bono que corresponde al interés acumulado desde el último vencimiento de interés cobrado, hasta la fecha de compra o valoración.
- **Database Marketing (Marketing de Base de Datos):** forma de marketing directo, usando bases de datos de clientes actuales o potenciales, que permite generar comunicaciones personalizadas con el fin de promover un producto o servicio.
- **Depósito:** operación financiera por la cual una entidad financiera, a cambio del mantenimiento de ciertos recursos monetarios inmovilizados en un período determinado, reporta una rentabilidad financiera fija o variable, en forma de dinero o en especie
- **Determinante Jacobiano:** determinante de la matriz jacobiana (matriz formada por las derivadas parciales de primer orden de una función).
- **Entidad de crédito:** denominación de cualquier empresa cuya finalidad o actividad es la de otorgar créditos a terceros.
- **Eonia:** índice medio del tipo del euro a un día, fruto de las operaciones de crédito interbancarias. Se elabora a partir de las operaciones entre entidades de crédito realizadas en ese día.
- **Especulación/Especulativo:** compra (o venta) de bienes con intenciones de reventa (recompra) posteriores, cuando el motivo de tal acción es la expectativa de un cambio en los precios que pueda originar beneficio.
- **Euribor:** tipo medio de interés al que se prestan euros entre sí un gran número de bancos europeos (el panel de bancos). Para la determinación de los tipos Euribor se elimina el 15% más alto y el 15% más bajo de los tipos de interés recolectados.
- **Extrapolación:** proceso de estimar más allá del intervalo de observación original, el valor de una variable en base a su relación con otra.

- **Factor de Descuento:** coeficiente que permite calcular el valor actual (presente) de cualquier flujo de caja futuro. Dependerá tanto del tipo de interés, coste del dinero en el tiempo, como del periodo de tiempo transcurrido.
- **FactSet®:** compañía multinacional de datos financieros y software
- **Fondo de inversión:** instrumento de ahorro que reúne a un gran número de personas que quieren invertir su dinero. Una entidad gestora se ocupa de invertirlo (cobrando comisiones por ello) en una serie de activos como pueden ser acciones, títulos de renta fija, activos monetarios, derivados, etc.
- **FRED®:** proveedor de información económica.
- **Función Sigmoide:** función que representa la evolución de procesos de aprendizaje basados en una progresión temporal desde unos niveles bajos al inicio, hasta acercarse a un clímax transcurrido un cierto tiempo; la transición se produce en una región caracterizada por una fuerte aceleración intermedia.
- **GARCH:** método econométrico usado para modelar observaciones basadas en series temporales.
- **Gestión del Conocimiento:** proceso por el cual una organización, facilita la transmisión de informaciones y habilidades (tanto interna como externa) a sus empleados, de una manera sistemática y eficiente.
- **GPU:** coprocesador dedicado al procesamiento de gráficos u operaciones de coma flotante, para aligerar la carga de trabajo del procesador central en aplicaciones como los videojuegos o aplicaciones 3D interactivas.
- **Haver Analytics®:** proveedor de información empresarial.
- **Id Bloomberg®:** dígito de 12 números que permite identificar de forma única valores en esta plataforma.
- **IQFEED®:** proveedor de información financiera.
- **Índice (Bursátil):** registro estadístico compuesto, usualmente de un número, que trata de reflejar las variaciones de valor o rentabilidades promedio de las acciones que lo componen. Generalmente, las acciones que componen el índice tienen características comunes tales como: pertenecer a una misma bolsa de valores, tener una capitalización bursátil similar o pertenecer a una misma industria.
- **Inteligencia Artificial:** área multidisciplinar que a través de ciencias como las ciencias de la computación, la lógica y la filosofía, estudia la creación y diseño de entidades capaces de resolver problemas cotidianos por sí mismas utilizando como paradigma la inteligencia humana

- **Interactive Data™**: proveedor de información financiera.
- **Interés de mercado libre de riesgo**: tipo de interés real de la deuda pública para el plazo correspondiente, sin añadir ninguna prima por liquidez o riesgo.
- **Intermediario Financiero**: instituciones que median y ponen en contacto a las unidades de gasto con superávit con las unidades de gasto con déficit con el fin de abaratar costes y dar las posibilidad de transformar los activos haciéndolos más atractivos para ambos.
- **Interpolación de Lagrange**: forma de presentar el polinomio que interpola un conjunto de puntos dado.
- **JavaScript**: lenguaje de programación
- **JP Morgan**: empresa financiera líder en inversiones bancarias, servicios financieros gestión de activos e inversiones privadas.
- **Kx Systems®**: sistema de información financiera.
- **Libor**: tasa de referencia diaria basada en las tasas de interés a la cual los bancos ofrecen fondos no asegurados a otros bancos en el mercado monetario mayorista, o mercado interbancario. Es fijado por la Asociación de Banqueros Británicos.
- **Liquidez**: cualidad de los activos para ser convertidos en dinero efectivo de forma inmediata sin pérdida significativa de su valor.
- **Método de descenso gradiente**: algoritmo específico para la resolución de modelos de programación lineal sin restricciones, donde la búsqueda de un mínimo está asociada a la resolución secuencial de una serie de problemas unidimensionales.
- **Método de Mínimos Cuadrados**: técnica de análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática. Dado un conjunto de pares ordenados ("x" e "y"), y una familia de funciones, se intenta encontrar la función continua, dentro de dicha familia, que mejor se aproxime a los datos, de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático.
- **Método Delphi**: técnica de comunicación estructurada, locamente desarrollado como un método de predicción sistemático interactivo, que se basa en un panel de expertos.
- **MUREX**: software destinado a gestionar las operaciones con activos, riesgos y soluciones para el comercio.
- **Nocional**: cantidad de principal sobre la que se calcula el interés sobre un swap o instrumento conexo (FRA, opciones de interés...)

- **Opciones:** instrumento financiero derivado que se formaliza en un contrato que da a su comprador el derecho, pero no la obligación, a comprar o vender bienes o valores a un precio predeterminado y en o hasta una fecha concreta.
- **Plusvalía:** aumento del valor de un producto por causas externas a él.
- **Política Monetaria:** proceso por el cual el gobierno, el banco central o la autoridad monetaria de un país controla la oferta monetaria (cantidad de dinero en circulación) y los tipos de interés con el fin de lograr un conjunto de objetivos orientados hacia el crecimiento y la estabilidad de la economía.
- **Prima de emisión:** diferencia entre el valor de emisión de un producto y su valor nominal.
- **Puntos básicos:** medida usada para expresar diferencias de tipos de interés. Un punto básico representa un 0,01% de manera que se necesitan 100 puntos básicos para un punto porcentual.
- **Razonamiento Heurístico:** solución a un problema, basándose en la experiencia y conocimientos previos. Encuentra una solución efectiva a un problema planteado, aún y cuando esta solución no sea la más óptima.
- **Redes Competitivas:** tipo de Red Neuronal en la que las unidades de salida compiten entre sí para activarse (sólo se activa la de mayor potencial sináptico).
- **Renta Fija:** emisiones de deuda que realizan los estados y las empresas dirigidos a un amplio mercado. Los pagos futuros son conocidos en el momento de su compra.
- **Renta Variable:** productos financieros que representan, especialmente, instrumentos forman parte del capital de una compañía (típicamente acciones). Se denomina variable ya que los pagos futuros que su posesión da derecho a recibir no están fijados.
- **Riesgo de Crédito:** posible pérdida que asume un agente económico como consecuencia del incumplimiento de las obligaciones contractuales que incumben a las contrapartes con las que se relaciona.
- **Riesgo de Interés:** posibles pérdidas provocadas por fluctuaciones en los tipos de interés.
- **Riesgo de Mercado:** riesgo derivado de la probabilidad de variación del precio o tasa de mercado en sentido adverso para la posición que tiene el inversor o empresa, como consecuencia de las operaciones que ha realizado en el mismo.

- **Riesgo de Reinversión:** riesgo derivado de la incertidumbre sobre el tipo de interés al que se reinvertirán los cupones, ya que si el tipo vigente en ese momento es inferior/superior al existente en la fecha de realización de la operación, la rentabilidad será menor/mayor que la esperada.
- **Robustez Computacional:** capacidad de los productos software de reaccionar apropiadamente antes condiciones excepcionales.
- **Santander Asset Management:** gestora independiente y global de activos, que comercializa, entre otros, los principales fondos de inversión y planes de pensiones de Banco Santander S.A.
- **Script (Informática):** programa usualmente simple, que por lo regular se almacena en un archivo de texto plano
- **Sesgo (Estadística):** diferencia entre su esperanza matemática y el valor numérico del parámetro que estima. Cuando un estimador tiene sesgo nulo se denomina **insesgado**.
- **Sistema Financiero:** formado por el conjunto de instituciones, medios y mercados, cuyo fin primordial es canalizar el ahorro que generan los prestamistas o unidades de gasto con superávit, hacia los prestatarios o unidades de gasto con déficit, así como facilitar y otorgar seguridad al movimiento de dinero y al sistema de pagos.
- **SIX Financial Information:** empresa especializada en la adquisición, valoración y difusión de información financiera internacional.
- **Solvencia:** relación entre el total de activos de una entidad (persona física o jurídica) y el total de pasivos
- **Spread (finanzas):** diferencia entre el precio de compra y el de venta de un activo financiero. Es una especie de margen que se utiliza para medir la liquidez del mercado. Generalmente márgenes más estrechos representan un nivel de liquidez más alto.
- **SPSS:** un programa estadístico informático muy usado en las ciencias sociales y las empresas de investigación de mercado.
- **Subrutina (Informática):** sub-algoritmo que permite resolver una tarea específica dentro de un programa más complejo.
- **Teoría evolutiva de Darwin:** el principio de selección privilegia los individuos más aptos con mayor longevidad y, por lo tanto, con mayor probabilidad de reproducción. Los individuos con más descendientes tienen más oportunidades de transmitir sus códigos genéticos en las próximas generaciones. Tales códigos genéticos constituyen la identidad de cada individuo y están representados en los cromosomas.

- **Tesorería:** área de una empresa en la que se gestionan las acciones relacionadas con las operaciones de flujos monetarios.
- **Thomson Reuters®:** empresa de información financiera creada tras la compra de Reuters (agencia de noticias) y Thomson Corporation (una de las compañías de información más grandes del mundo):
- **Ticker:** símbolo o código de identificación único de un valor financiero que cotiza en bolsa. Permite identificar no solo este, sino también el mercado en el que está cotizando (por ejemplo, el precio de una acción difiere según el mercado).
- **Tipo de cambio:** tasa o relación de proporción que existe entre el valor de una divisa y otra.
- **Tipo de interés:** precio a pagar por el uso de una cantidad de dinero durante cierto período de tiempo (el tipo de interés es el precio del dinero).
- **Tipo Spot:** tipos al contado, fijados de manera inmediata. Representan aquellos que se aplicarían en caso de contratar, hoy mismo, un préstamo o depósito.
- **Tipos “depo” o de depósito:** generados en el mercado de depósitos, representan el tipo de interés al que unas entidades de crédito están dispuestas a ceder dinero a otras, a distintos plazos.
- **Unix:** sistema operativo
- **Valor Temporal del Dinero:** concepto basado en la premisa de que un inversor prefiere recibir un pago de una suma fija de dinero hoy, en lugar de recibir el mismo a una fecha futura.
- **Ventana de Aprendizaje (RNA):** número de datos tomados para el aprendizaje
- **Visual Basic:** lenguaje de programación
- **Volatilidad (finanzas):** medida de la frecuencia e intensidad de los cambios del precio de un activo o de un tipo definido
- **VPN:** tecnología de red que permite una extensión segura de la red local (LAN) sobre una red pública o no controlada como Internet. Permite que el ordenador envíe y reciba datos sobre redes compartidas o públicas como si fuera una red privada con toda la funcionalidad, seguridad y políticas de gestión de una red privada.

9.2 Anexo II: Planificación y presupuesto

A continuación, se describe tanto la planificación como el presupuesto necesario para desarrollar el sistema, identificando fases del proyecto y recursos necesarios.

9.2.1 Planificación

Para desarrollar el sistema, han sido necesarias las siguientes fases:

Análisis del entorno

Esta primera fase ha sido crucial en el desarrollo del sistema. Se ha realizado un primer análisis con el fin de determinar cuál es la situación actual del problema que se pretende resolver (en este caso Curvas Cupón Cero y usos, así como uso de las RNA).

El objetivo ha sido el de establecer qué se ha conseguido hasta el momento, cuáles han sido las vías de investigación al respecto y qué otras quedan abiertas. Así mismo, se ha realizado un estudio sobre todos los términos y conceptos desconocidos, con el fin de entender de forma clara cuáles son los objetos principales de este proyecto.

Análisis del sistema:

Tras analizar la situación actual, y tal y como se ha documentado en la sección 4.1. de este documento, se ha procedido a realizar un análisis sobre el sistema que, finalmente, se ha decido desarrollar.

Esta fase ha permitido identificar las especificaciones del problema a resolver, definiendo qué es lo que debe hacer el sistema desarrollado y para qué.

Dado que este proyecto está basado en la investigación y no en el desarrollo de un producto, este análisis se ha realizado, en un primer momento a groso modo permitiendo crear una visión general acerca del software utilizado.

Así mismo, y a medida que ha ido avanzando la misma, se han ido proponiendo nuevos requerimientos según necesidades que han ido surgiendo. De este modo, ha sido necesario retomar esta fase, durante las etapas de desarrollo y prueba, con el fin de incluir nuevas funcionalidades al sistema.

Desarrollo del sistema

Una vez definido el problema a investigar, y tal como se explica en la sección 4.2 de este documento, se ha comenzado a tomar decisiones sobre cómo se va a hacer. Se ha definido no solo el cómo se va a solucionar el problema, sino también la arquitectura del sistema, las herramientas a utilizar y los módulos necesarios para su implementación.

Durante esta fase, se han podido detectar nuevas funcionalidades necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. De este modo, ha sido necesario recurrir de nuevo a la fase de análisis con el fin de incluir las mismas en el diseño.

Implementación y Pruebas del sistema

Se trata de la fase más técnica del proyecto. En ella se han llevado a cabo las soluciones propuestas en la fase de diseño, generando el código necesario y haciendo uso de las tecnologías y herramientas definidas (entornos de desarrollo, Bloomberg®, servidores...)

Se considera la implementación y las pruebas como una única fase, ya que ambas actividades han ido solapadas en el tiempo. Se ha optado por un diseño incremental, en el que cada una de las pequeñas funcionalidades desarrolladas se ido probando y depurando, con el fin de no acumular errores al final del desarrollo (haciéndolo mucho más difícil de manejar). Una vez depurados, se han ido integrando con el resto de módulos con el fin de conseguir el sistema integrado final.

Análisis de resultados

En esta fase se han ido analizando los resultados que se han ido obteniendo con el sistema desarrollado. En este caso, no se han evaluado aspectos tecnológicos (funcionamiento, optimización, etc.) que ya fueron medidos en la fase anterior. El objetivo ha sido el de obtener conclusiones a partir del sistema, ya que, dada la naturaleza del proyecto, este ha sido su misión desde un primer momento.

Se han evaluado, por un lado, las Redes Neuronales como método de aproximación y predicción. Por otro, se han analizado las curvas obtenidas con el sistema, con el fin de detectar patrones en su forma. Esta fase ha sido la fuente principal que ha permitido desarrollar las conclusiones de este documento.

Documentación

Última fase del proyecto basada, principalmente, en la elaboración de este documento. Se trata de una fase que ha estado, continuamente, solapada con el resto.

Puesto que el objetivo de esta memoria es el de documentar todo el trabajo realizado, así como análisis previos y conclusiones finales, se ha ido redactando a medida que se iban completando cada una de las fases. Esto ha permitido que lo escrito en el mismo se ajuste lo más fielmente a la realidad, no esperando a redactarlo al último momento (donde se escaparían algunos conceptos claves, sobre todo, de las primeras fases).

9.2.1.1 Planificación inicial

En base a los objetivos definidos, se desarrolló una planificación inicial, estimando tiempos dedicados a cada fase, así como total dedicado al proyecto.

En total, se estimó una duración del proyecto de ocho meses (desde Octubre hasta Mayo del año siguiente), con una dedicación, aproximada, de dos horas diarias.

Se ha elaborado un diagrama de Gantt, acorde a esta planificación, que permite visualizar de forma gráfica todo el proceso.

A continuación se muestra el diagrama expandido que permite visualizar todas las fases y sub-fases del proyecto.

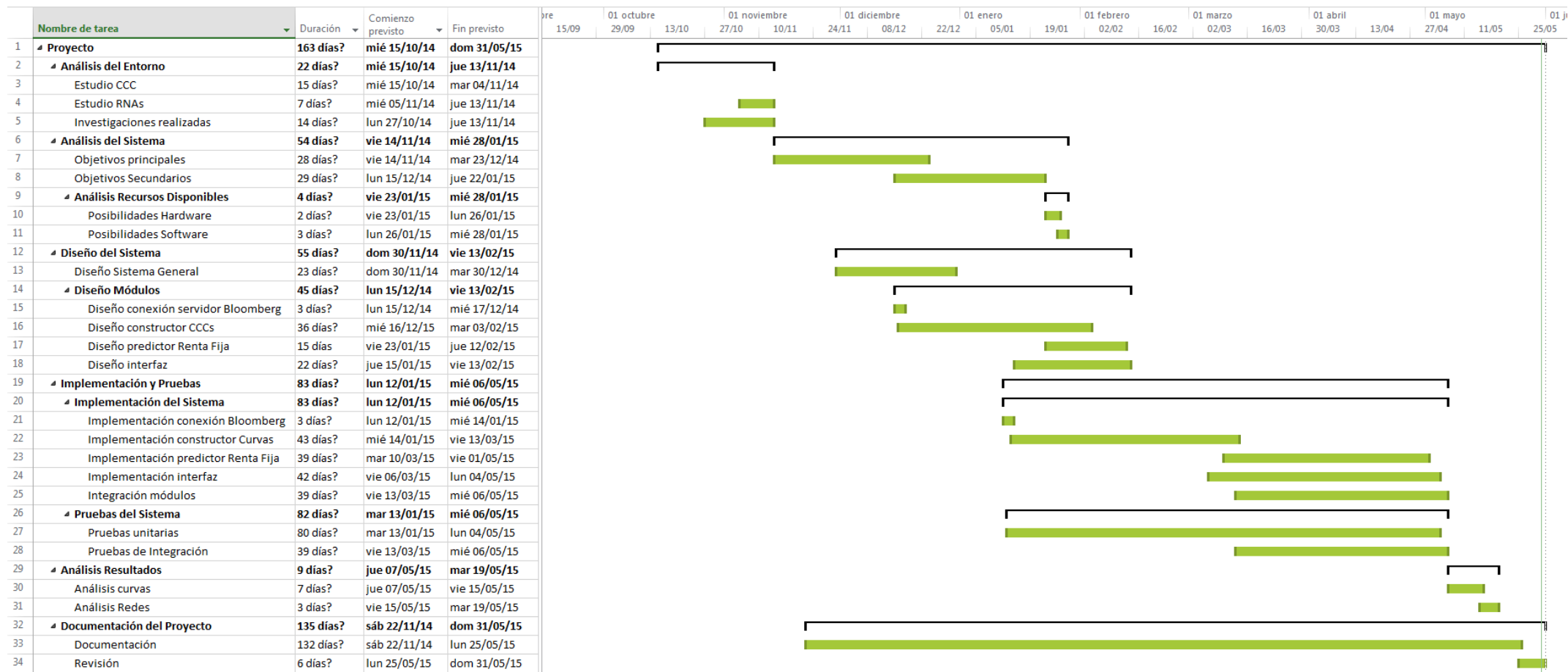


Ilustración 81: diagrama de Gantt inicial

9.2.1.2 Planificación final

A continuación se muestra el diagrama de Gantt expandido de la planificación final resultante:



Ilustración 82: diagrama de Gantt final

Como se observa en el diagrama superior, finalmente, la planificación no se ha podido llevar a cabo del mismo modo que fue planteada inicialmente.

El análisis del entorno fue más complejo de lo que se esperaba en un primer momento. Por un lado, el desconocimiento del problema, y por otro, la gran cantidad de información disponible, hicieron que esta fase se alargara.

Sin embargo, este análisis exhaustivo de la situación hizo que las ideas sobre qué desarrollar fueran bastante claras reduciendo, en consecuencia, la fase de análisis y diseño del sistema.

En la fase de implementación, se produjo de nuevo un retraso debido a los problemas surgidos con el desarrollo del predictor de Renta Fija. Problemas en su funcionamiento, así como desconocimiento de determinados aspectos, hicieron tener que emplear en esta sub-fase más tiempo del estimado inicialmente.

Por otro lado, en marzo, un cambio inesperado, hizo replantear toda la planificación, al tener que dedicar menos horas de las estimadas algunos días. Sin embargo, esto no se observa en el diagrama, ya que las horas imputadas, al final, fueron las mismas (se dedicaron más horas de las planificadas en otras fechas), no retrasando ninguna tarea más de lo ya comentado en las líneas anteriores.

Finalmente, e intentando contrarrestar el retraso de unas fases con la reducción de otras (incluso teniendo que invertir mayor número de horas, sobre todo, en el último mes) se ha conseguido terminar el proyecto en el plazo establecido inicialmente (tal y como se observa en la duración de la fase “Proyecto” del último diagrama y del anterior).

9.2.2 Presupuesto

Los costes necesarios para el desarrollo del sistema se han dividido en los siguientes: costes software, hardware y de personal. A continuación se detalla el desglose de cada uno de estos.

9.2.2.1 Recursos Software

Estos costes hacen referencia a los programas utilizados, así como licencias de uso necesarias. Los costes de Matlab, así como complementos adicionales, se imputan en su totalidad a este proyecto (se han adquirido exclusivamente para este). En el caso de Microsoft Office 2010 (precio total 100 €), puesto que será usado, por lo menos durante los próximos 3 años, se le imputa un coste al proyecto de 22 €. Respecto al servicio Bloomberg®, la suscripción al mismo asciende a 2000 € al mes. Puesto que solo ha sido utilizado durante 3 meses (el resto se ha trabajado con dastos de prueba), se le imputa un coste de 6.000 €. Sin embargo, y dado que su uso ha sido cedido por Santander Asset Management, el coste final de esta servicio es de 0€.

Concepto	Coste
Matlab r2015a	105 €
Neural Network Toolbox	29 €
Financial Toolbox	29 €
Microsoft Office 2010	22 €
Servicio Bloomberg®	0 €
Total	185 €

Tabla 31: Costes Software

9.2.2.2 Recursos Hardware

Para el desarrollo del sistema se ha utilizado un ordenador personal con las características que se detallan a continuación:

Procesador	Intel Core i5-4440 (3.10 GHz)
Memoria RAM	8 GB
Disco Duro	1 TB
Sistema Operativo	Windows 7 (64 bits)

Tabla 32: Características recurso Hardware 1

Este equipo tiene un coste aproximado de 650€, incluyendo periféricos. Aplicando una amortización lineal de 5 años (sin valor residual), y un uso de 8 meses, se le atribuye un coste de 86,70€.

Además ha sido necesario usar un terminal Bloomberg®. Este se alquila junto con la suscripción al servicio (por un periodo de dos años), por lo que el coste del terminal puede considerarse 0€ (se cede al suscribirse y se retira cuando se da de baja). Las características de este dispositivo son las siguientes:

Procesador	Intel Core i3-3220T (2.8 GHz)
Memoria RAM	4 GB
Disco Duro	245 GB
Sistema Operativo	Windows 7 Enterprise (32 bits)

Tabla 33: Características recurso Hardware 2

Los costes Hardware serían, por tanto:

Concepto	Coste
Ordenador desarrollo	86,70 €
Terminal Bloomberg®	0€
Total	86,70 €

Tabla 34: Costes Hardware

9.2.2.3 Recursos Humanos

Este proyecto ha sido desarrollado por una única persona. Sin embargo, y para un correcto análisis del presupuesto, se ha desarrollado su trabajo en función del número de horas dedicadas a cada uno de los roles que han sido necesario en este proyecto: analista, diseñador, programador, encargado de calidad y pruebas y analista financiero.

Concepto	Horas Trabajo	Coste/Hora	Coste total
Analista	180 h	30 €	3.400 €
Diseñador	90 h	25 €	2.250 €
Programador	150 h	15 €	2.250 €
Calidad y pruebas	120 h	10 €	1.200 €
Analista financiero	10 h	35 €	3.500 €
Total	555 h	23€ (media)	12.600 €

Tabla 35: Costes Humanos

9.2.2.4 *Coste Total*

A continuación, se muestra un cuadro resumen con todos los costes mencionados con anterioridad.

Concepto	Coste
Recursos Software	185 €
Recursos Hardware	86,70 €
Recursos Humanos	12.600 €
Total	12.871,70 €

Tabla 36: Costes Totales



9.3 Anexo III: Introducción y conclusiones en Inglés

Esta sección recoge la introducción y conclusiones de este documento traducidas al inglés. Dado que la estructura será la misma que la seguida en la parte en español, no se incluirá en el índice (para no crear confusiones).

1 Introduction

This section is responsible for introducing the reader to the issues that will be addressed throughout this document. To do this, it starts exposing what are the motivations that have led to do this work as well as what are the initial basic concepts and the current socio-economic. Also, this subparagraph summarizes clearly what are the objectives to be achieved, what are the means for its implementation and, finally, the whole structure of the memory.

1.1 Motivation

This project arises from the idea of looking for a subject where I could relate as much as possible two seemingly different areas. Thus, this project deals with two topics, Artificial Intelligence and Finance, using as a link the prediction and modeling made in the more quantitative part of finance.

The aim, is to test the performance of some computational techniques in a business area in order to propose new methods that have not been investigated until this moment, but which could optimize the decision making process.

Since there have been many investigations into this area (stock exchange predictions, portfolios performance...) as well as many applications developed in order to determine various financial aspects (credit risk, asset valuation, calculation of economic capital...) there have become very important look for a new idea, where investigations conducted so far had not been widely developed.

Thus, this project is focused in the investigation of the development and use of Zero Coupon Curves, not only to find a suitable estimation methodology, but also to apply in the valuation of fixed income assets. This last point was crucial because, through this project, we have proposed an unconventional way to earn in the financial markets through instruments other than equities, which although less benefit, also means less risk (something to value according to market instability in recent times).

To do this, I have decided to use the Artificial Neural Network of MATLAB, as opposed other environments and techniques that had been used in previous investigations. Although a lot of AI techniques have already been used in the area of finance, I have considered the neural networks because I believe that these are the ideal to resolve this type of problems.

Finally, it is to be noted the relevance of the Zero Coupon Curves in the real world. These are used by a lot of entities in order to make financial decisions. Moreover, it is important to mention the so rudimentary methods that, typically, these companies used to calculate it, encouraging even more my desire to try to improve these.

1.2 Setting

1.2.1 Socio-economic environment

The current economic crisis has sown the financial system of great instability. This has caused potential investors are more risk averse and therefore prefer financial products that, although lower profitability, also pose less risk.

Following this line, it is fixed income assets which have gained more prominence in these times of crisis. There are many investment funds dedicated exclusively to investing in these products and therefore are a good way to invest for savers prudent profile. Around 33% of the money movements in Spanish funds is placed in fixed income products, being, in recent years, the biggest increase that (in percentage terms) have experienced.

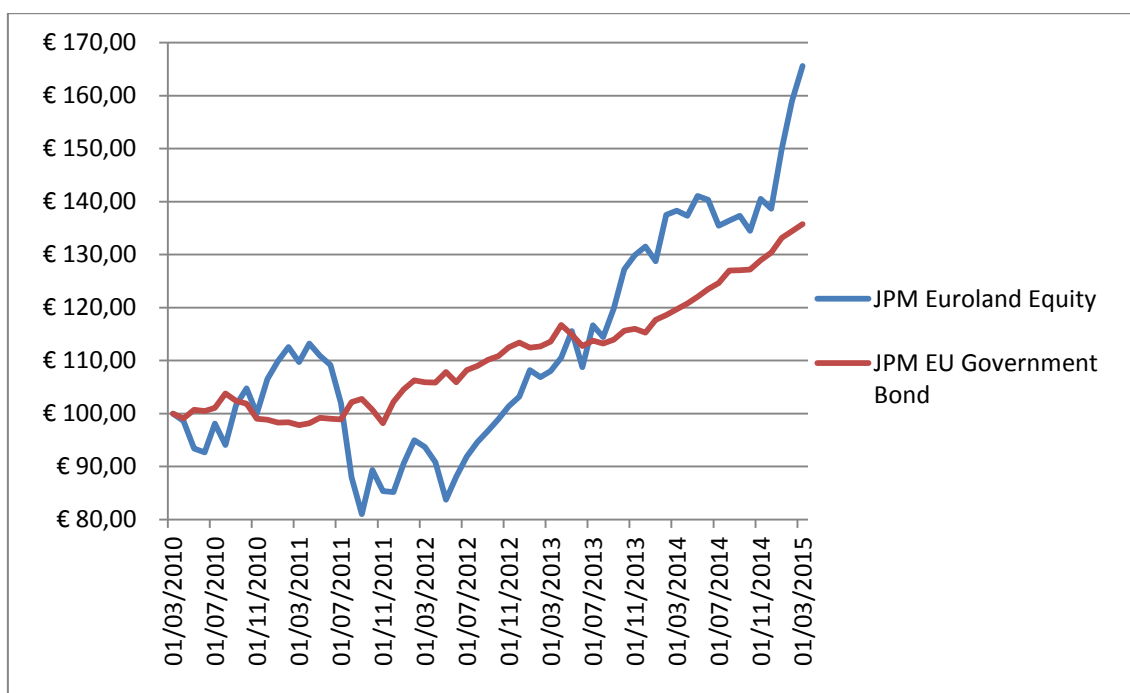


Illustration 83: variations fixed income fund Vs. variations equity fund (Source: JP Morgan Asset Management)

Within these products we can distinguish between Euro and international fixed income. The first, and we will focus on this project is comprised of all Euro-denominated debt and, therefore, issued by states and private companies in the Euro zone.

Notably, in recent years, the return on these assets has experienced wide fluctuations so that it becomes a good opportunity research detect how these changes have affected the financial markets.

The profitability of the debt is linked directly with the risk that an investor can acquire with your purchase (mainly in terms of credit risk) and therefore the credit quality of the issuers. Thus, the risk premium, which has undergone many changes over the past two years, directly affects the valuation of bonds. For example, it has not been the same valuation as an issuer of bonds Spain five years ago (when the crisis in the country was deep) that currently (where economic recovery seems already a reality).

In this sense, such is the way the perception of risk affects the value in bonds that, in recent months, some countries (such as Germany or Belgium, considered the safest in the Eurozone) have come even to bonds offer negative returns. Although, a priori, this seems meaningless, there are several reasons to invest in these bonds can be a good opportunity. On the one hand, if we reason with speculative nature, it can be a good occasion if we expect prices will continue to fall or, conversely, will experience increases. On the other hand, we can also find benefits resulting from the exchange rate (as happened a few months ago with the appreciation of the Swiss franc), capital gains or from the forecasting of future supply and demand. As calculated by JP Morgan, in late January a total of 3.6 billion dollars in public debt (16% of the total) was trading at negative rates.

Below is a graph representing the evolution of the German 10-year bond (blue line) compared to other European bonds. When compared with the Spanish (green line) can be seen as between 2012 and 2013 the differences were significant (according to the law of supply and demand, the German bond, due to it had much less risk, was more demanded and, therefore, its price was much higher).

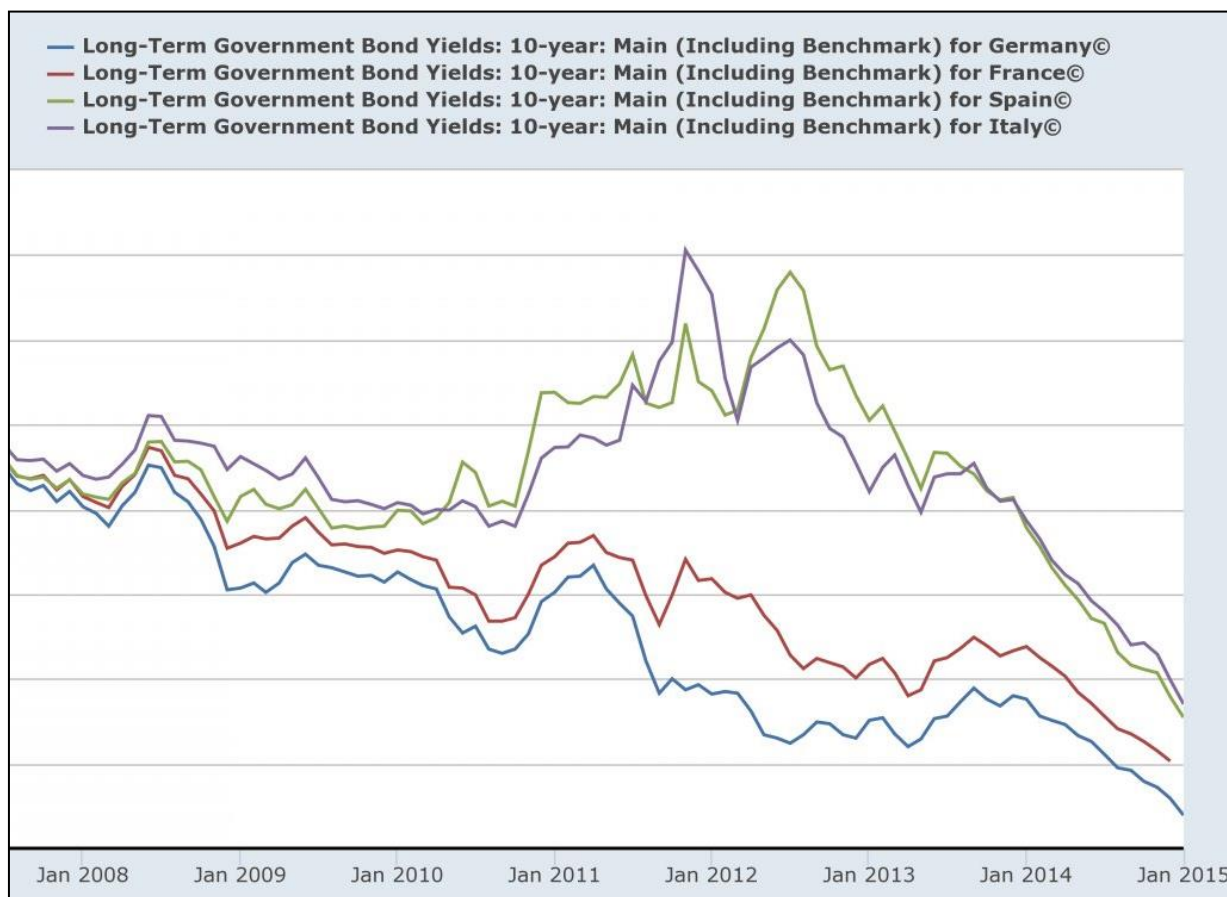


Illustration 84: evolution of the price of the Spanish 10Y bond and German 10Y bond (Source: research.stlouisfed.org)

Another important aspect to consider in the valuation of bonds is the use of zero coupon curve (hereinafter CCC), the main element in the development of this project. This is often used as a benchmark in evaluating of bonds and is used to determine the relative spread to other markets (and therefore evaluate possible trends).

When evaluating the profitability of an investment, and to avoid reinvestment risk, financial institutions use the rates of the zero-coupon curve to value flows. These rates are not obtained in the financial market, as there are no time frames for the long term, so is necessary obtain it from the price of other highly liquid assets (government bonds, interbank rates, swaps, etc.) with different maturities.

In the case of the Euro area, it is common to use the interbank market rates (Libor or Euribor) for the construction of the CCC, so the recent manipulations uncovered about these rates, could have had also a significant impact on it. These manipulations, which were intended to distort the normal course pricing of these rates, affecting, not only the interest rate derivatives on the Euro, but also the interest rate mortgages indexed to this rates. It was in a scandal at the European level that culminated with the highest penalty imposed on various financial institutions by the European Central Bank.

Finally, it is important to emphasize the current state of finances, derived mainly from the advancement in technologies and new paradigms. We are facing a new stage, as opposed to the traditional financial world, where the goal is to explain the current financial phenomenal and indicate the right way to making financial decisions. To develop these explanations, it is necessary to develop quantitative models using scientific language appropriate reasoning and empirical verification, so that artificial intelligence techniques have forged a mainstay in the business. They are able to consider the qualitative information and from it design and implement statistical and computational models to assist decision makers in solving different business problems.

At present, Artificial Intelligence is being applied to many activities of humans (medical diagnostics, remote sensing, logistics, etc.), even applied to the area of corporate financial management. In the financial area we can highlight, among others, the following:

- Risk analysis.
- Trend analysis.
- Classification of bonds and notes.
- Prediction of equity values in the stock market.
- Models construction of efficient portfolios.
- Detection of fraud.

1.2.2 Regulatory framework

Important to mention that all this placement and bond trading is regulated, in the Spanish case, by the Spanish Securities Market Commission (hereinafter CNMV). States as well as private entities cannot issue debt in accordance with the features they want, or at the time and manner that they determined. There are laws and regulations that establish requirements that an issuer must have, as well as how the products, markets in which these can be traded, etc. These markets are organized and controlled and there are laws that protect potential investors who want to channel their savings negotiating in them. Law 24/1988, of 28th of July, on the Securities Market, aims, for example, regulating the Spanish systems trading in financial instruments and the rules for the latter (and issuers of such products). Also, the Circular 6/2011, of 12th of December, establishes accounting standards, financial statements of the



reserved and public information and financial statements of the companies related to trading on financial markets.

In addition, it is very important, in this environment, the oversight and regulation of the members of the European System of Central Banks (ESCB) and of the Eurosystem. The first includes the European Central Bank and all the Center Banks of the different states (also the countries without euro). The second institution is compromised of the European Central Bank and the Central Banks of the states members of the monetary union.

Thus, the European Central Bank is the core of the Eurosystem and of the ESBC, and its principal aim consist in secure the prices stability (inflation less than 2%).

The Spain Bank, consequently, collaborates with the CNMV within the cooperative framework established between both institutions.

It is important to mention, also, the role of the European System of Financial Supervision. It was created like a decentralized system of macro-prudential and micro-prudential authorities with multiples levels in order to guarantee an effective financial oversight.

1.3 Goals

The goals of this project can be divided into two sections, each focusing it from different perspectives: the first, from a financial point of view (and therefore more qualitative); the second, more technical, focusing on the different methodologies to implement and the results to be obtained.

1.3.1 Finalcial Goals

The main aim of this project is to build the Zero Coupon Curve of the Euro, using for that the Bootstrapping technique and the interbank market rates (like inputs) by being deemed very liquids. Also, this investigation, looks for established how important are the rates that we used for calculated the curve, changing the inputs and observing how its form is affected.

From this curve, the work pretends to analyze how the distinct situations have been able to affect at this.

On the one hand, pretends to observe the evolution of the bond markets in the Euro area over the past two years. To do this, we will analyze the various movements that have suffered the ZCC, in order to detecting relevant events that occurred in the past, which have affected its curvature. For example, we will try to see if the peaks observed in the European risk premiums influenced also the rates that form the curve.

In addition, as a continuation of the first study, we intended, from the observed behavior, predict the future value of these bonds. The objective is, according to the prediction, buy or sell them in the bond markets for profit (as is often more commonly operate equities).

1.3.2 Computer Goals

The methodological and performance objectives of this research are related, as I mentioned earlier, with the branch of Artificial Intelligence in the area of Information Technology. The aim is to be able to analyze different approximation functions and prediction models, in order to determine where each of these is most appropriate (depending on the obtained yield).

Firstly, different approximation functions of the Zero Coupon Curve will be analyzed. In order to do this, we will be developed simple interpolations (linear and exponential) and others based on artificial neural networks (ANN).

On the other hand, we will implement predictive models based on the already mentioned ANN, which are based on time series to determine future series. With this, we intend to analyze the performance of the artificial neural networks implemented in MATLAB, from how they used until which are the ANN most suitable for each use.

It is also aimed at developing an interface that allows users to make use of the developed models. However, it notes that the objectives of this project are focused on results, thus, not much effort is devoted to the composition and appearance of it.

1.4 Development Resources

The resources used for the development of this project have been a computer, the mathematical software MATLAB, and a Bloomberg® terminal (which allowed access to all the necessary information). The detailed budget for this project is provided in Annex II.

1.4.1 Hardware Resources

1.4.1.1 Desktop Computer

Processor	Intel Core i5-4440 (3.10 GHz)
RAM	8 GB
Hard Drive	1 TB
Operative System	Windows 7 (64 bits)

Table 37: features from the development computer

Approximated cost: 650€

1.4.1.2 Bloomberg® Terminal

This is a personal computer with a special keyboard with function keys and fingerprint reader. It also incorporates a Bloomberg® monitor with a dual-display configuration.

This terminal is rented with service subscription (for two years), but for the development of this project has been donated by Santander Asset Management for a defined period.

Size	19'' x 2 monitores
Dimensions	49.28 x 84.40 x 30.04
Resolution	1280 x 1024 a 60 Hz
Video Mode	VGA (640x480) 75 Hz SVGA (800x600) 75 Hz XGA (1024x768) 75 Hz SXGA (1280x1024) 75 Hz

Table 38: features of Bloomberg® monitors.

Processor	Intel Core i3-3220T (2.8 GHz)
RAM	4 GB
Hard Drive	245 GB
Operative System	Windows 7 Enterprise (32 bits)

Table 39: features of Bloomberg® terminal

Approximated cost: detail it in Bloomberg® software.



Illustration 85: Bloomberg® terminal

1.4.2 Software Resources

1.4.2.1 MATLAB:

Version	r2015a
Operative System	Windows
Kind of License	Uso personal
Toolbox	Neural Network Toolbox Financial Toolbox

Table 40: features MATLAB

License and Toolbox cost: 163 €

1.4.2.2 Bloomberg® Professional Service

Financial software designed by Bloomberg® LP (US company) capable of monitoring and analyzing data from various financial markets in real time. It also allows access to news, historical data and even trade through its electronic trading platform. This project has been used both to access historical quotes as to access data in real time.

Bloomberg® Professional Cost: 2000€/month

1.5 Document structure

This section contains a description of each of the sections that make up this document in order to facilitate the reader's understanding and finding information along the same explained.

This memory consists of eight sections whose contents are detailed below.

1.5.1 Introduction

This is the first part of this paper, whose aim is to introduce the reader to the work done.

To do this, the section start exposing what have been the motivations that have led to this work as well as the basic initial concepts and the current socio-economic situation (setting). Also summarizes clearly what are the objectives to be achieved, what are the resources used for its implementation and, finally, the whole structure of memory.

1.5.2 State of the Art

This is an overview of the context in which this project falls. The section detailed which are the initial concepts, design possibilities, the decisions that we have been taken and possible applications.

This section investigates, primarily, those financial concepts that have served as the basis for the development of this project and also in the previous investigations that have been conducted and it have served as a starting point. One can say, therefore, that it is the more qualitative part of the document (and therefore focusing in a financial vision).

1.5.3 Technologies Used

This section describes what has been the technology used for the project. It is presented as a collection of small technical manuals, which collect the functioning of the various tools and libraries used in the implementation.

1.5.4 Developed System.

This is the most technical part, together with the previous section of this document. This explains each of the modules implemented, what are the inputs required for its operation and what are the results that you can extract of they.

Also this part detailed, what the execution flow, the relationship between the various modules and relationships between systems and the outside.

1.5.5 Results and Discussions

Explanation and discussion about the results that we have obtained with each tests performed during the investigation. This section indicated, from those test made to check the correct operation of each of the modules until those used to measure the performance of each of the models implemented.

For this, this part describe, among others, errors made with each of the interpolation methods, deviations in the results obtained (in comparison with known historical data) and the reliability of the prediction methods employed (using samples bounded).

From a financial standpoint, also it contains an analysis of the curves obtained during the investigation, evaluating if its form is conditioned by certain events that happened.

1.5.6 Conclusions and Further Works

The section on conclusions and further work tries to explain what goals set out in the first paragraph that have been met and to what extent. In order to do these, this part of the document explain how these have been met, and if their achievement has been online with the initials aims.

Finally, it exposes what possible improvements in the work are, what aspects considered can be subject to change or what other applications can be implemented using the zero coupon curves drawn.

1.5.7 Bibliography

This section contains a reference to all sources that were consulted during this project, so that they can be consulted in the event that the reader sees fit.

1.5.8 Annexes

Finally, there will be a section of annexes, which will include content relevant to the project not included in the structure.

Annexes are containing a breakdown of the planning and budget for this project, a glossary of acronyms and definitions and the introduction and conclusions of this document translated into English (compulsory part of the study plan of the 2011).

2 Conclusions and further works

This section details the final conclusions of this project focusing on them from two different points of view: on the one hand more quantitative conclusions about system performance and results achieved; secondly, qualitative analysis of the solutions provided in this document, in order to make a financial view thereof.

In both cases, I am going to determine which goals mentioned in the introduction have been resolved, what are not and why, and the resources that I have needed to achieve them.

On the other hand, I am going to make a brief reflection on which issues of this project remain open: what are the opportunities for improvement there, what are the further work can be deducted from this and the most important thing, how these findings can be used by other students in his future projects.

2.1 Conclusions

This first section details, as mentioned above, the financial and technical conclusions drawn from the development of this project.

2.1.1 Technical conclusions

At the beginning of this project, there were several goals set with respect to the more technical part of it (IT goals).

On the one hand, I intended to check the performance of artificial neural networks in the approximation of functions, using this for construction of the ZCC. To achieve this goal, and in order to determine how efficient it is to use, I have been several tests (as discussed in the previous section). After the analysis, it was possible to confirm how these are a good alternative to traditional techniques (typically interpolation) and how this achieve their goal, draw smoother curves introducing a minor error.

On the other hand, the second goal of this project was related to the use of neural networks for the prediction of fixed income securities. In this case, and as discussed throughout this document, I have used the tool which MATLAB offers for its design.

Mention that, in this case, the results have not been as successful as initially thought. I have not gotten, with this neural network, a hit rate close to 100% (nor even for the prediction in $t+1$) so that the goal cannot be regarded as reached.

Importantly, this network has allowed to assess how efficient are the networks that MATLAB provides in predicting such securities. In this case, where I wanted to go beyond, predicting not only zero coupon bonds, but also all types of bonds, its performance has not been adequate. In the case of time series for financial products, it becomes very difficult to determine a fixed window of learning and, furthermore, in those dates near at the coupon payment, the network has not been able to predict this behavior.

The last of the goals raised in the introduction, was to design a simple interface that would interact with the system designed. In this case, only point out that this has been possible thanks to the GUIDE tool that MATLAB provides. Since in this case the design and usability

were not the principles that have guided its development, only emphasize its proper operation. This has allowed, not only learn how this type of interface works in the chosen development environment, but also to perform tests and analysis more quickly and intuitively.

2.1.2 Analitic conclusions

These conclusions are focuses on the financial aspects that can be derived, mainly, from the ZCC designed in this project.

On the one hand, and as I mentioned in the initial goals, we have been able to build Zero Coupon Curves from the Euro for distinct dates. We have applied the *Bootstrapping* technique correctly, using for that interbank market rates.

In addition, we have done an analysis of how the different historical moments (in recent years) have influenced the movements of the ZCC. I have been able to verify how those periods of instability have caused an increase in zero coupon rates and those with minor crisis decreased them. This was expected given the theory because in the worst moments, from an economic point of view, the investors require greater profitability (or premium) to cover the potential risk.

Through the generated curves also we have been able to analyze how some theories related to the yield curve (as defined in the second point of this document) are not valid.

Finally, I would like to mention how the use of FRA improvement the curves. One of the fundamental requirements in the representation of the curve is the fact that this has obtained a consistent way to determine market movements. We can see how these *inputs* improve the results, building a curve more useful for evaluating products.

2.1.3 General Conclusions

Analyzing this project from a general point of view, I can say that I have achieved the main goals which motivated the realization of this project.

It has been able to demonstrate how the AI is very useful in an area like finance. The achieved results has demonstrate that the artificial neural networks are a very good alternative for resolve this type of issues (approximation of functions), opening, consequently, a new way of investigation, in contrast of the other previous researches.

2.2 Further Works

This second part details those areas of research that leaves open this project, as well as the possible improvements in the development, achieving, in consequence, expand the scope.

2.2.1 Zero Cupon Curve Design

The proposed improvements and the further works related to ZCC may be divided into two different blocks: firstly, those related to approximation methods to be used and, the seconds, those related to inputs that allow draw it.

On the one hand, there are still other approximation techniques that can be used for the construction of the ZCC. It would be desirable to use more methods to determine those that best suit its shape. In this project I have evaluated only techniques related to artificial neural networks (as opposed to the classical methods of interpolation). However, it would be interesting to address other techniques based on Artificial Intelligence, for example, genetic algorithms. There are techniques for the construction of the ZCC, as the curve of Svensson or Nielson-Siegel, that allow to draw it using such algorithms. Thus, it would be interesting conclusions, if someone try to compare these approximation methods, in order to determine the optimum solution.

Another interesting aspect, is the construction of the curve to other currencies distinct than the Euro. This would allow, firstly, comparing how the volatility in exchange rates may affect the yield curve. For example, it is expected that the ZCC for the dollar (less volatile in recent years than the Euro) present more smooth and flat structure. Likewise, if we had curves for different currencies, we could measure, also, more complex assets, as swaps in which each leg is denominated in a different currency.

2.2.2 Other applications from the Zero Cupon Curve

As I said in one of the points of this document, there are many applications that CCC may have. Although this project has been used to predict future values of fixed-income assets, this could be used as a starting point for other future work where you want, depending on this, obtain other information.

For example, it would be interesting to use the ZCC in the valuation of companies. This allows knowing what the premium that a particular bonus is paying in the market. Since this is only the amount that an issuer must pay for an investor to buy its debt (for assume a risk), the curve may be permitted to express an opinion on the credit quality of the company. In this sense, someone could investigate whether this could be a good way to qualify, even by ratings, the different companies (and compare it with the qualifications specialized agencies give to them).

Another branch of research could be the ways to assess how the ZCC affect the future market. For example, make possible "humps" that can present the curve, to invest (because these tend, in the future, to be smoothed. This would analyze the results from another point of view by identifying areas of the curve where these shocks.

Finally, the curve can be used to assess interest rate products. Since the ZCC allow determining, for example, if investors expect, at a given time, that a rate is going to increase or

decrease, we can know if there is at present, exist a risk that the rates will fall in the future (and therefore result in losses). Thus, another area of research would be related to the search for these investment opportunities, acquiring beneficial futures interest rates according to market expectations that predict.

2.2.3 Prediction of Fixed Income Assets

As I indicated in the conclusions, this is perhaps the aspect that offers more opportunities for improvement, given the results obtained.

In my opinion, the main work derived from this, is the inclusion of certain external variables for prediction. In this sense, it would be interesting to include variables such as the coupon payment, for determining how this affects the value (for example, less than a month payment, the bond price, given similar circumstances, begins to fall by 1%).

Another possible area of improvement would be to evaluate new techniques to predict, for comparing results with those obtained using the MATLAB neural network (or networks using MATLAB but of a different type to those used).

Consequently, the goal here would be to implement improvements that would allow significantly reduce the failure rate of the system. Should improve, it could extend, even, this prediction to quantify not only if it is expected that the price will rise or fall, but also how much it will do.

2.2.4 User Interface

If I approach these improvements from a user point of view, it would be interesting, too, to create an interface (even on a different platform to MATLAB) with a friendlier look.

In this sense, someone could include this calculation module curves in another application, focused on another aspect (for example, obtain market prices for certain products), or create a new interface (or improving existing) so that it could be used by any user, not only in the face of research, testing and analysis (as was the case in this project) but also for other purposes.

Thus, it would be necessary to make the system independent of a Bloomberg® terminal, so this could be run from any machine. One way would be to compile a proprietary database with the information necessary for each day, so that it could be accessed by any user on request, and without connecting to the Bloomberg® server.

